Objetivos humanísticos, conteúdos científicos: contribuições da história e da filosofia da ciência para o ensino de ciências

Ana Paula Bispo da Silva
Breno Arsioli Moura
(orgs.)

eduepb

Objetivos humanísticos, conteúdos científicos
contribuições da história e da filosofia da Ciência para o ensino de Ciências

Ana Paula Bispo da Silva
Breno Arsioli Moura
(orgs.)

SILVA, A. P. B., and MOURA, B. A., eds. *Objetivos humanísticos, conteúdos científicos*: contribuições da história e da filosofia da Ciência para o ensino de Ciências [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2019, 384 p. ISBN: 978-85-78795-79-5. http://doi.org/10.7476/9786586221664.

Ana Paula Bispo da Silva
Breno Arsioli Moura
(*Organizadores*)

OBJETIVOS HUMANÍSTICOS, CONTEÚDOS CIENTÍFICOS: CONTRIBUIÇÕES DA HISTÓRIA E DA FILOSOFIA DA CIÊNCIA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Campina Grande-PB
2019

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

Propostas para a utilização da História e da Filosofia da Ciência (HFC) no Ensino de Ciências (EC) fazem parte das pesquisas em Ensino de Ciências há, pelo menos, cinquenta anos. Desde então, diferentes perspectivas têm sido dadas a esta utilização. Até mesmo a natureza desta "utilização" tem sido diferente. Em alguns casos, a HFC é uma estratégia didática, em outros, um material didático, uma abordagem ou apenas uma introdução ao assunto. Tantos sentidos e significados trazem em comum o quão importante é aproximar a reflexão que se faz nas ditas "ciências humanas" como a história e a filosofia, das "ciências naturais e exatas", como a física, a química e a biologia.

Ao investigar origens históricas e filosóficas de conteúdos científicos, fica claro que a separação entre "ciências humanas" e "ciências naturais e exatas" não faz sentido. As ciências são, sem distinção, fruto da análise e interpretação do homem sobre fenômenos. Onde tais fenômenos ocorrem, seja na natureza ou em meio à sociedade, implica apenas numa divisão analítica e pragmática, que não encontra ressonância no mundo real, ou seja, não há, efetivamente, qualquer separação, embora convencionalmente se acredite em tal conceito. Mas ao final, o que leva à compreensão do fenômeno é nossa capacidade de analisá-lo amplamente, considerando diferentes olhares, referenciais téoricos, interpretações e influências.

É por esse viés plural e dinâmico que o presente livro pretende apresentar novos elementos para a pesquisa em História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências. Os capítulos que o compõem correspondem a um conjunto de conferências apresentadas durante dois eventos realizados em 2018, no Brasil: a *11th*

International Conference on History of Science and Science Education (ICHSSE) e a *4ª Conferência Latino-Americana do International History, Philosophy and Science Teaching Group*(IHPST-LA). São trabalhos selecionados especialmente por apresentarem novas reflexões quanto ao papel da HFC no Ensino de Ciências a partir de perspectivas mais amplas, avançando ideias já bastante consolidadas entre os pesquisadores nesses campos do conhecimento.

Baseados em trabalhos de longa data de *experts* no assunto, os capítulos trazem novas questões filosóficas sobre os modelos e narrativas das ciências; os pressupostos culturais dos experimentos e teorias científicas e sua relação com o ensino e, de maneira inversa, como teorias e pressupostos científicos estão presentes na cultura e na divulgação de conhecimentos.

Roberto de Andrade Martins, no estudo de caso sobre Lavoisier e a conservação das massas, deixa claro que aspectos apriorísticos guiam os trabalhos experimentais. Ou seja, a adoção da atividade empírica como neutra na obtenção de verdades sobre a natureza é questionável. É o que discute também Ana Paula Bispo da Silva ao tratar do experimento de Thomas Johann Seebeck sobre o termomagnetismo. Além de ter sido influenciado por pressupostos filosóficos, como a *Naturphilosophie*, os estudos experimentais de Seebeck não deixam explícitas informações referentes a conhecimentos técnicos necessários para que os resultados obtidos sejam aqueles *esperados* pelo experimentador.

Nem mesmo o início da ciência moderna está isento de uma discussão quanto à exatidão de resultados. É o que discute Pierre Boulos, em outro estudo de caso que mostra como até mesmo Isaac Newton teve suas “verdades” sobre o movimento dos planetas questionadas por Euler. José Otávio Baldinato e Paulo Alves Porto também analisam um estudo de caso em que a ciência é influenciada por outros conhecimentos, nesse caso a teologia. Ao investigar os trabalhos de William Prout, Baldinato e Porto destacam como fenômenos químicos foram explicados a partir

de pressupostos teológicos em pleno século 19, quando a análise quantitativa e a precisão experimental pretendiam atribuir uma racionalidade máxima à ciência. Com um foco mais voltado a discutir questões de natureza da ciência em situações de ensino, o capítulo de Douglas Allchin nos mostra como estudos de caso envolvendo dois cientistas brasileiros – Vital Brazil e Carlos Chagas – podem oferecer subsídios muito relevantes para mostrar como aspectos da ciência nacional também têm potencial para discutir a construção do conhecimento científico.

Os relatos de experiências e vivências em sala de aula também mostram a diversidade da relação entre História e Filosofia da Ciência e o Ensino de Ciências. Andreia Guerra descreve como a história cultural da ciência tem sido um aporte historiográfico para as pesquisas e propostas de seu grupo de pesquisa, o Núcleo de Investigação em Ensino, História da Ciência e Cultura (NIEHCC). Por sua vez, Thais Cyrino de Mello Forato apresenta suas experiências com abordagens históricas em diferentes disciplinas em um curso de formação de professores, fazendo um retrospecto das atividades desenvolvidas com licenciandos desde 2011. Elizabeth Cavicchi relata como um conjunto de atividades ligadas à história da astronomia instigou a curiosidade de alunos no prestigiado *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). No texto de Katya Braghini fica explícito como a prática experimental, analisada a partir do acervo de objetos de um gabinete de física de uma escola, está associada a uma visão de ciência e de educação científica. Por fim, Breno Arsioli Moura descreve como sua experiência como professor de disciplinas de história da ciência o levou a construir a proposta de leitura contextualizada (LC), a fim de facilitar o trabalho com fontes primárias em situações de ensino. Nos diferentes cursos e espaços discutidos por esses autores, a discussão de aspectos históricos e do contexto científico permitiu que os participantes assumissem uma postura mais crítica quanto ao caráter neutro, racional e verdadeiro da ciência.

O livro se encerra com uma importante reflexão de André L. de O. Mendonça e Antonio A.P. Videira acerca da relação entre História, Filosofia e Sociologia da Ciência. Para esses autores, não há mais sentido em distinguir tais "ciências". Tanto as naturais quanto as humanas correspondem a uma categorização a posteriori. Em tempos em que a reflexão e a análise crítica devem se destacar em relação a conhecimentos prontos, o presente livro amplia a discussão sobre a efetiva utilização da História e da Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências e busca fomentar a criação de novas estratégias, discussões e questões nessa que tem se tornado uma das mais profícuas áreas de pesquisa em Educação e Ensino no mundo. Esperamos que a leitura seja produtiva e que, a partir das reflexões aqui colocadas, novos rumos possam ser traçados na complexa, mas frutífera, relação entre essas diferentes áreas do conhecimento.

Os organizadores agradecem o suporte intelectual do International History, Philosophy and ScienceTeaching Group (IHPST), Sociedade Brasileira de História da Ciência (SBHC), Sociedade Brasileira de Física (SBF), Inter-Divisional Teaching Comission (IDTC-IUHPST) e o suporte financeiro da Sicredi-Creduni, Universidade Estadual da Paraíba, Universidade Federal do ABC, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Esses suportes foram essenciais para a realização dos eventos e, consequentemente, para a organização deste livro.

Ana Paula Bispo da Silva
Breno Arsioli Moura

ASPECTOS APRIORÍSTICOS DA CIÊNCIA: LAVOISIER E A LEI DA CONSERVAÇÃO DA MASSA EM REAÇÕES QUÍMICAS

Roberto de Andrade Martins

A lei de conservação da massa (ou de conservação da matéria) é um dos mais importantes princípios da ciência. Ela é geralmente associada ao nome de Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), sendo mencionada como "lei de Lavoisier"; ou, algumas vezes, ao de Mikhail Vasilyevich Lomonosov (1711-1765). A atitude mais comum dos professores de ciência em relação a esta lei (e também em relação a qualquer outra) é de considerá-la como *verdadeira*, assumindo que ela foi *provada* por uma série de *experimentos*. Como geralmente é atribuída a Lavoisier, costuma-se pensar que esse pesquisador (ou, talvez, Lomonosov) foi quem a provou; e essa interpretação popular é tornada ainda mais convincente quando se fornece uma data específica para tal evento histórico.

Essa é uma visão equivocada e ingênua, transmitida por muitos livros didáticos e por obras populares que se referem à lei de conservação da massa. Ela transmite uma interpretação empirista sobre a natureza da ciência, que não é correta e que prejudica a compreensão dos estudantes (e do público em geral) a respeito do que é a pesquisa científica.

Mesmo sem examinar detalhes sobre sua história, pode-se perceber que é impossível proporcionar uma *prova experimental* de que a massa (ou peso, ou matéria) se conserva de forma exata em todos os tipos de sistemas fechados que puderem ser examinados. A única coisa que pode ser estabelecida experimentalmente é

que para alguns sistemas que foram examinados, e que foram considerados isolados, não houve uma variação significativa de massa (ou peso, ou matéria) nas reações químicas que foram estudadas, dentro de certa margem de erro experimental. De fato, uma das mensagens mais importantes sobre a natureza da ciência é que as leis científicas nunca são *provadas* e que elas sempre são provisórias, pois podem ser *refutadas*.

Por outro lado, sob o ponto de vista histórico, todos os historiadores da ciência que analisaram cuidadosamente o desenvolvimento dessa lei concluíram que Lavoisier nunca tentou provar ou mesmo testar essa lei – ele simplesmente a enunciou e utilizou. Mesmo a afirmação mais fraca de que Lavoisier *descobriu experimentalmente* a lei de conservação da massa é igualmente falsa.

O filósofo da ciência polonês-francês Émile Meyerson (1859-1933) defendeu a ideia de que esta e outras leis de conservação possuem uma fundamentação apriorística (ou seja, independente de observações ou experimentos) que as tornam facilmente aceitáveis; e que ela só foi submetida a testes experimentais no final do século XIX e início do século XX. Embora a análise de Meyerson sobre o princípio[1] de conservação da massa tenha sido escrita mais de um século atrás, minha opinião é que sua descrição histórica e sua análise epistemológica sobre o tema ainda não foram superadas. Por essa razão, o texto aqui apresentado segue de forma bastante próxima de sua interpretação.

Este trabalho aborda a história e o *status* epistemológico da lei da conservação da massa, focalizando especialmente a obra de Lavoisier. Assim, discutiremos especialmente se tal lei é um princípio *a priori* (puramente racional, independente da experiência) ou *a posteriori* (empírico, ou seja, proveniente de observações e experimentos). Um trabalho mais antigo sobre o assunto (MARTINS; MARTINS, 1993) abordou vários aspectos

---

1 Neste trabalho vamos utilizar os termos “lei” e “princípio” como sinônimos, embora tenham conotações distintas.

dessa história, que não podem ser repetidos aqui, por limitações de espaço. Assim, haverá frequentes menções àquele artigo (que é fácil de localizar na Internet), cuja leitura complementará a do presente trabalho.

Considerando a importância científica desse princípio e o modo equivocado pelo qual ele é apresentado no ensino, acreditamos que uma exposição mais cuidadosa desse episódio pode proporcionar uma contribuição educacional significativa.

A versão mais popular: "demonstração experimental"

Na época em que este estudo está sendo publicado, a Internet já se transformou em uma fonte de informações muito popular, consultada por estudantes e professores; e a *Wikipédia* é um dos *sites* mais frequentemente acessados por eles, em busca de informações sobre as ciências. Alguns de seus artigos têm uma alta qualidade – principalmente na versão em inglês – mas isso não ocorre no caso da descrição sobre a conservação da massa, que contém informações históricas equivocadas[2].

> Historicamente, a conservação da massa foi demonstrada nas reações químicas, independentemente, por Mikhail Lomonosov; e depois redescoberta por Antoine Lavoisier no final do século XVIII. [...]
>
> Durante o século XVIII o princípio de conservação da massa nas reações químicas foi amplamente utilizado e era uma suposição importante durante os experimentos, mesmo antes que fosse estabelecida formalmente uma definição, como pode ser visto nas obras de Joseph Black, Henry Cavendish e Jean Rey. O primeiro a esboçar o princípio foi Mikhail

2 Neste trabalho, fizemos uso de trechos da *Wikipédia* em inglês, justamente porque essa versão costuma ser mais correta do que em outros idiomas.

> Lomonosov, em 1756. Ele o demonstrou através de experimentos e discutiu o princípio antes de 1774 em sua correspondência com Leonhard Euler, embora sua alegação sobre esse assunto seja algumas vezes criticada. Uma série mais refinada de experimentos foi realizada posteriormente por Antoine Lavoisier que exprimiu sua conclusão em 1773 e popularizou o princípio de conservação da massa. As demonstrações do princípio tornaram obsoletas as teorias alternativas, como a teoria do flogisto que alegava que a massa poderia aumentar ou diminuir em processos térmicos e de combustão[3].

A versão da *Wikipédia* enfatiza a ideia de *demonstração* através de experimentos, seja por Lomonosov[4] ou por Lavoisier, indicando os anos em que eles teriam apresentado o princípio. Tanto em livros didáticos antigos quanto nos mais recentes, encontramos afirmações semelhantes sobre a *demonstração experimental* (ou prova) da lei por Lavoisier:

> Usando balanças precisas, Lavoisier foi capaz de demonstrar aquilo que outros pesquisadores haviam suspeitado: a quantidade de matéria não muda durante uma reação química. Essa é a lei de conservação da massa [...] (SIBRING; SCHAFF, 1980, p.34).
>
> Os primeiros experimentos que demonstraram conclusivamente a conservação da massa foram realizados por Antoine Lavoisier, um químico francês, um pouco antes da

3 Conservation of mass. Disponível em <https://en.wikipedia.org/wiki/Conservation_of_mass>. Acesso em 17 de agosto de 2018.

4 Não discutiremos aqui a contribuição de Lomonosov. As pessoas interessadas no assunto podem consultar os trabalhos de Philip Pomper (1962) e Henry Leicester (1975). Ver também o livro de Steven Usitalo (2013) sobre Lomonosov.

> Revolução Francesa. [...] Lavoisier proporcionou a primeira prova quantitativa do importante princípio de conservação da massa (MARION, 2014, p.27).

Temos a impressão de que esses e outros autores de livros didáticos reconstruíram o passado sem se dar o trabalho de consultar fontes históricas relevantes – pois nunca citam nenhuma referência historiográfica. Se uma pessoa acredita que as leis científicas podem ser provadas experimentalmente e se a lei de conservação da massa está associada ao nome de Lavoisier, parece plausível que esse cientista teria sido quem proporcionou a prova experimental da lei. Assim, a maior parte das pessoas aceita isso, sem duvidar, tanto por causa de sua visão empirista da ciência quanto por causa do epônimo "lei de Lavoisier".

Infelizmente, quando se olha para o passado através dos olhos da ciência atual e de uma visão equivocada sobre a natureza da ciência, a história se torna inevitavelmente opaca. Uma pessoa só vê aquilo que ela quer ver, não o que realmente aconteceu. Essa é a principal causa da pseudo-história (ALLCHIN, 2004), incluindo tantos relatos equivocados e puramente inventados sobre muitas descobertas científicas.

Outra versão popular: "descoberta experimental"

Em vez de "demonstração por experimentos", alguns autores se referem a uma *descoberta experimental*: "Medindo cuidadosamente o peso de cada substância, Lavoisier descobriu que a matéria não é criada nem destruída durante uma reação química. Ela pode mudar de uma forma para outra, mas sempre pode ser encontrada ou explicada" (HAVEN, 2007, p.47). "Lavoisier descobriu experimentalmente, em torno de 1785, a lei da conservação da massa" (PATY, 1999, p.614).

Podemos notar que a suposta associação entre experimentos e a *descoberta* da lei da conservação da massa por Lavoisier é uma

versão aceita por vários filósofos da ciência. Nesses casos, parece que os autores estão também reconstruindo o passado a partir de suas crenças epistemológicas –porém, como eles sabem que não se pode *provar experimentalmente* uma lei científica, adotam a versão mais branda da *descoberta experimental*, aceitando que, no contexto da descoberta, os experimentos podem proporcionar uma sugestão indutiva para uma lei geral.

> Os experimentos acima não estabelecem a alegada universalidade de h_2 [hipótese 2 = conservação da massa], pois se referem [apenas] às ocorrências particulares do par mercúrio-oxigênio; e, afinal, a conservação da massa poderia ser uma idiossincrasia desse par. Lavoisier, por isso, testou h_2 em diversos outros casos, usando sistematicamente a balança. E quando considerou h_2 como suficientemente corroborada – pelos padrões da época – ele saltou sem hesitação para a conclusão geral de que a conservação da massa vale universalmente, isto é, para toda reação química que ocorra em um sistema isolado (BUNGE, 1967, p.256-257).

Mario Bunge, um respeitado filósofo da ciência – porém com conhecimento histórico limitado – parece ter realizado uma retrodição ou reconstrução filosófica da pesquisa de Lavoisier. Ele afirmou que o cientista francês *testou* sua hipótese sobre conservação da massa, pelo uso *metódico* da balança e a *corroborou* – ou seja, não encontrou fatos contrários. Bem, isso é o que os cientistas *deveriam fazer*, de acordo com a visão de Bunge a respeito da ciência. No entanto, Lavoisier nunca se comportou realmente assim. Vamos comparar a reconstrução de Bunge com o relato histórico de Reijer Hooykaas:

> Lavoisiser não encontrou a lei de conservação do peso como um resultado de experimentos;

> pelo contrário, ele partiu da crença metafísica de que nada surge por si próprio e – embora alegasse ser um empirista [...] – ele nunca realizou um experimento para testar a verdade dessa lei (HOOYKAAS, 1999, p.222).

Outros historiadores da ciência concordam que Lavoisier aceitou a conservação do peso (ou da massa)[5] como um princípio *a priori* e o utilizou, mas nunca o questionou:

> Sem dúvida, Lavoisier fez um uso amplo e adequado desse princípio [...], isto é, ele o aplicou tão frequentemente quanto possível. Mas o que é um princípio? O [dicionário] *Petit Robert* diz isso: "Proposição inicial, que é afirmada mas não é deduzida". Portanto, um princípio é afirmado *a priori*, antes do experimento. Então, é aplicado à interpretação dos resultados e, eventualmente, nota-se até que ponto (sempre aproximativamente) o princípio é seguido. Assim, Lavoisier não "descobriu" a lei que traz o seu nome, depois de "delicados experimentos" [...], mas ele a aplicou aos experimentos. Quando o experimento não dava os resultados esperados, ele não descartava seu princípio, mas questionava sua experiência, e recomeçava, às vezes com novos instrumentos. Assim, ele não observou nada além do que já havia suposto (BENSAUDE-VINCENT; JOURNET, 1993, p.62).

---

5 Os conceitos de 'massa' e 'peso' são distintos; e o peso de um sistema isolado não se conserva, pois se transportarmos o sistema da superfície da Terra para a superfície da Lua, seu peso irá diminuir muito, por causa da diferença da gravidade. Porém, na época de Lavoisier, poucas pessoas diferenciavam entre peso e massa, por isso vamos utilizar "conservação do peso" e "conservação da massa" como se fossem equivalentes.

As pessoas que não estão familiarizadas com os detalhes das pesquisas de Lavoisier podem imaginar que a descrição acima está errada, já que o cientista francês é geralmente descrito como um experimentador muito cuidadoso e exato. Outros historiadores da ciência, no entanto, que dedicaram anos estudando o trabalho de Lavoisier, apresentam uma visão devastadora sobre sua abordagem científica:

> Quando acompanhamos a trajetória investigativa de Lavoisier [...] – em particular, quando reconstruímos seus empreendimentos experimentais no nível de intimidade que pode ser recuperada a partir de seus cadernos de laboratório – nós encontramos que ele não tinha um método global para assegurar que suas folhas de balancete se equilibrariam; que frequentemente elas não o faziam; que ele encontrava uma miríade de erros, cujas fontes ele nem sempre conseguia identificar com certeza; que ele frequentemente tinha que calcular indiretamente o que não conseguia medir diretamente; que exercia a maior engenhosidade no manejo de seus dados, de tal modo que experimentos falhos dessem suporte às suas interpretações; e que dedicava muito cuidado e esforço para o planejamento de experimentos que contornassem tais dificuldades; mas que frequentemente se baseou em resultados que sabia serem inexatos, usando sua fé no princípio de conservação para completar ou corrigir as quantidades medidas. Eu diria que grande parte de seu sucesso científico se baseia na habilidade com a qual Lavoisier confrontou as muitas armadilhas armadas ao longo do caminho da investigação quantitativa que escolheu (HOLMES, 1982, p.24).

Será que podemos confiar na análise de Frederic Holmes sobre o método de Lavoisier, apresentada acima? É claro que só existe um modo de avaliá-la: é necessário analisar o relato original do próprio Lavoisier. O que as fontes primárias nos dizem?

Formulação e uso da lei, por Lavoisier

Assim como ocorreu com outros pesquisadores de seu tempo, Lavoisier começou a *utilizar* o princípio de conservação do peso sem apresentar qualquer formulação explícita do mesmo. Sua primeira publicação científica (1770) que continha o uso implícito do princípio se referia à suposta transformação da água em terra (LAVOISIER, 1862, v.2, p.1-28). Considerações sobre o peso das substâncias envolvidas proporcionaram os principais argumentos que ele utilizou naquele artigo (MEYERSON, 1908, p.151). Ele empregou o mesmo princípio nos seus *Opuscules Physiques et Chimiques* publicados em 1774, onde descreveu seus primeiros experimentos sobre calcinação (MEYERSON, 1908, p.153).

Vamos analisar a exposição do próprio Lavoisier a respeito da lei de conservação da massa. Ele nunca chamou muita atenção para o princípio e sua apresentação mais clara apareceu apenas em 1789, no seu *Traité Élémentaire de Chimie* – não no início, onde esperaríamos encontrar as leis fundamentais dessa ciência, mas no capítulo 13 da primeira parte, onde ele discute a fermentação do vinho:

> Ver-se-á que, para chegar à solução dessas duas questões, era necessário primeiramente estar bem familiarizado com a análise e a natureza do corpo fermentável e dos produtos da fermentação; pois nada é criado, nem nas operações da arte, nem nas da natureza; e pode-se colocar em princípio que em cada operação existe uma quantidade igual de matéria antes e depois da operação; que a qualidade e quantidade dos

> princípios [elementos químicos] são iguais, e que há apenas mudanças, modificações.
>
> Toda a arte da experimentação em química se baseia nesse princípio: somos obrigados a assumir em todos [os experimentos] uma verdadeira igualdade ou equação entre os princípios [elementos] do corpo que se examina e aqueles que são extraídos dele pela análise (LAVOISIER, 1789, v.1, p.140-141).

Uma parte específica da citação acima é considerada como a exposição por parte de Lavoisier do princípio de conservação da massa: "nada é criado, nem nas operações da arte, nem nas da natureza, e pode-se colocar em princípio que em cada operação existe uma quantidade igual de matéria antes e depois da operação" (Holmes, 1982, p.24). Notemos que nessa frase não há menção à massa ou ao peso, mas sim à "quantidade de matéria" – uma expressão que havia sido utilizada como sinônimo de massa por Newton, nos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, publicados um século antes. Devemos também notar que a apresentação de Lavoisier era mais forte do que a lei de conservação da massa nas reações químicas que costumamos utilizar, pois ele enfatizou a conservação da quantidade *de cada elemento em particular*. Esta é uma suposição adicional, já que se poderia conceber a conservação da massa mesmo se não existissem elementos químicos permanentes.

Nesse capítulo sobre fermentação, Lavoisier apresentou os detalhes quantitativos de seus experimentos. Para compreender seus dados, é necessário conhecer as unidades de peso que utilizou (PARTINGTON, 1961-1970, v.3, p.377). Sua unidade básica era a antiga libra francesa, diferente da inglesa (em francês: *livre*, ou *pois de marc*). Sabemos que ela correspondia a 489,5058 g. Suas subdivisões eram as seguintes: 1/16 da *livre* era chamada de *once* (1 *once* = 30,5941 g); 1/8 da *once* era chamado de *gros* (3,8242 g);

and 1/72 do *gros* era chamado de *grain* (0,0531 g, ou 53,1 mg). Portanto, uma libra continha 9.216 grãos (*grain*).

As substâncias que Lavoisier utilizou na fermentação eram água, açúcar e levedo; suas quantidades eram de 400 *livres* de água, 100 *livres* de açúcar e 10 *livres* de pasta de levedo de cerveja; e esta continha 7 *livres*, 3 *onces*, 6 *gros* e 44 *grains* de água e 2 *livres*, 12 *onces*, 1 *gros* e 28 *grains* de levedo seco (LAVOISIER 1789, v.1, p.143). Notemos que seus dados quantitativos sugerem que a precisão de suas pesagens seria de um *grain* (cerca de 1/20 de grama) para um peso total de 510 *livres* (quase 250 kg).

		livre	*once*	*gros*	*grain*
Água		400	0	0	0
Açúcar		100	0	0	0
Pasta de levedo de cerveja, contendo	Água	7	3	6	44
	Levedoseco	2	12	1	28
		510	0	0	0

Fig. 1. Tabela apresentada por Lavoisier no *Traité Élémentaire de Chimie* mostrando os pesos dos materiais utilizados na reação de fermentação (LAVOISIER, 1789, v.1, p.143).

Matériaux de la fermentation pour un quintal de sucre.

		liv.	onc.	gr.	gr.
Eau		400	»	»	»
Sucre		100	»	»	»
Levure de biere en pâte, composée de	Eau	7	3	6	44
	Levure seche	2	12	1	28
TOTAL		510	»	»	»

Seriam suas balanças tão exatas assim? Sabemos que os dois instrumentos mais precisos de que ele dispunha eram uma balança produzida por Pierre-Bernard Mégnié, capaz de detectar 5 mg para um peso total de 600 g (ou seja, cerca de uma parte

em 100.000); e outra produzida por Nicolas Fortin, que podia detectar 25 mg quando sua carga total era de 10 kg (cerca de duas partes em um milhão). Esses eram os melhores instrumentos da época (BENSAUDE-VINCENT & JOURNET, 1993, p.49). Nos experimentos de fermentação, o peso total era de 510 *livres* (sem incluir os recipientes que continham as substâncias), correspondendo a cerca de 250 kg. Se ele pudesse realmente medir essas quantidades com a precisão de um *grain* (0,0531 g), isso significaria uma precisão de duas partes em dez milhões. Era impossível atingir tal precisão, com suas balanças.

Na verdade, Lavoisier nem mesmo utilizou quantidades tão grandes das substâncias indicadas, em seus experimentos. Em vez de 100 *livres* de açúcar, ele reconheceu que empregou apenas poucas libras:

> Nesses resultados, eu levei a precisão do cálculo até o *grain*. No entanto, não é possível ainda realizar esse tipo de experimento com tão grande exatidão. Mas eu usei apenas algumas poucas libras de açúcar – e, para fazer comparações, fui obrigado a reduzi-las ao *quintal* [cem *livres*] –, e considerei meu dever manter as frações tais como foram fornecidas pelo cálculo (LAVOISIER, 1789, v.1, p.148-149; LAVOISIER, 1796, p.194-195).

Portanto, as tabelas de Lavoisier não indicam suas medidas reais e sim os números obtidos em seus cálculos. Elas mostram os valores proporcionais que calculou, correspondentes a uma quantidade hipotética muito maior das substâncias. Independentemente disso, utilizando 500 *livres* ou poucas libras, a precisão máxima que ele poderia alcançar seria de duas partes em um milhão e nunca duas partes em dez milhões.

Lavoisier também forneceu os detalhes da composição elementar dos materiais que utilizou, dando os pesos de

hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio ("azoto") contidos em cada substância:

		livre	*once*	*Gros*	*grain*
407 liv. 3 onc. 6 gr. 44 grains de água	Hidrogênio	61	1	2	71,40
	Oxigênio	346	2	3	44,60
100 liv. de açúcar, contendo	Hidrogênio	8	0	0	0
	Oxigênio	64	0	0	0
	Carbono	28	0	0	0
2 liv. 12 onc. 1 gr. 28 grains de levedo seco, contendo	Carbono	0	12	4	59,00
	Azoto	0	0	5	2,94
	Hidrogênio	0	4	5	9,30
	Oxigênio	1	10	2	28,76
		510	0	0	0

Fig. 2. Tabela apresentada por Lavoisier no *Traité Élémentaire de Chimie* mostrando os pesos dos diversos elementos contidos nos reagentes utilizados na fermentação (LAVOISIER, 1789, v.1, p.144).

Détail des principes conſtituans des matériaux de la fermentation.

		liv.	onc.	gr.	grains.
liv. onc. gr. grains. 407 3 6 44 d'eau composées de	Hydrogène......	61	1	2	71,40
	Oxygène........	346	2	3	44,60
100 l. de ſucre composées de	Hydrogène......	8	»	»	»
	Oxygène........	64	»	»	»
	Carbone........	28	»	»	»
liv. onc. gr. gr. 2 12 1 28 de levure ſeche composées de	Carbone........	»	12	4	59,00
	Azote..........	»	»	5	2,94
	Hydrogène......	»	4	5	9,30
	Oxygène........	1	10	2	28,76
TOTAL..........		510	»	»	»

É evidente que as quantidades de cada elemento não foram *medidas*. Foram *computadas*, levando em consideração as estimativas que Lavoisier realizou para os componentes de cada substância, em análises anteriores. No caso do açúcar, por exemplo, Lavoisier

afirmou que as proporções dos elementos eram aproximadamente (*à-peu-près*) as seguintes: Hidrogênio 8%, Oxigênio 64% e Carbono 28% (LAVOISIER, 1789, v.1, p.142). Embora essas fossem proporções aproximadas, devemos notar que ele as utilizou como se fossem exatas e que na sua tabela ele registrou frações impossíveis de medir, de centena de *grain* (menos do que um miligrama).

Os produtos da fermentação foram os seguintes (utilizando os nomes que ele lhes atribuiu), de acordo com Lavoisier (1789, v.1, p.147):

	livre	*once*	*gros*	*grain*
Ácido carbônico	35	5	4	19
Água	408	15	5	14
Álcoolseco	57	11	1	58
Ácido acetoso seco[6]	2	7	8	0
Resíduo de açúcar	4	1	4	3
Levedo seco	1	6	0	50
	510	0	0	0

De acordo com os dados apresentados por Lavoisier, houve uma concordância exata entre os pesos totais dos reagentes e dos produtos. Não foi perdido nem adquirido um único *grain*. Ora, qualquer pessoa que já tenha realmente realizado medidas em laboratório será incapaz de acreditar que ele pudesse obter tal resultado. É muito provável que no processo de secagem das várias substâncias ele não conseguisse avaliar a quantidade exata de água que haviam perdido; e pode ter ajustado o peso da água, para que o peso total obedecesse à lei de conservação da massa.

> Em geral, os resultados numéricos de seus experimentos [de Lavoisier] são bons demais para serem verdadeiros; métodos mais modernos

6 No livro de Lavoisier há um equívoco tipográfico, pois o número de onces do "ácido acetoso" foi omitido. Acrescentamos na tabela o valor correto, para completar a soma total.

> e precisos não proporcionariam os resultados maravilhosos que ele menciona nos seus experimentos sobre fermentação (HOOYKAAS, 1999, p.222).

Lavoisier também indicou as quantidades de cada elemento das substâncias que utilizou, tanto antes quanto depois da fermentação. De acordo com sua descrição, a composição das substâncias utilizadas no experimento de fermentação era (LAVOISIER, 1789, v.1, p.144):

	livre	*once*	*gros*	*grain*
Oxigênio	411	12	6	1,36
Hidrogênio	69	6	0	8,70
Carbono	28	12	4	59,00
Azoto			5	2,94
	510	0	0	0

Fig. 3. Tabela apresentada por Lavoisier no *Traité Élémentaire de Chimie* mostrando os pesos dos diversos elementos contidos nos reagentes utilizados na fermentação (LAVOISIER, 1789, v.1, p.144).

Récapitulation des principes constituans des matériaux de la fermentation.

		liv.	on.	gr.	grains.	liv.	onc.	gr.	gr.
Oxygène..	de l'eau....	340	»	»	»	411	12	6	1,36
	de l'eau de la levure...	6	2	3	44,60				
	du sucre....	64	»	»	»				
	de la levure.	1	10	2	28,76				
Hydrogène.	de l'eau....	60	»	»	»	69	6	»	8,70
	de l'eau de la levure..	1	1	2	71,40				
	du sucre..	8	»	»	»				
	de la levure.	»	4	5	9,30				
Carbone...	du sucre....	28	»	»	»	28	12	4	59,00
	de la levure.	»	12	4	59,00				
Azote.....	de la levure....					»	»	5	2,94
	TOTAL....					510	»	»	»

De acordo com os dados de Lavoisier (1789, v.1, p.148), as quantidades dos diversos elementos que obteve nos produtos do experimento de fermentação eram diferentes das iniciais, embora o peso total fosse o mesmo:

	livre	*once*	*gros*	*grain*
Oxigênio	409	10	0	54
Hidrogênio	71	8	6	66
Carbono	28	12	5	59
Azoto			2	37
	510	0	0	0

Fig. 4. Tabela apresentada por Lavoisier no *Traité Élémentaire de Chimie* mostrando os pesos dos diversos elementos contidos nos produtos obtidos após a fermentação (LAVOISIER, 1789, v.1, p.148).

RÉCAPITULATION des résultats obtenus par la fermentation.

liv.	on.	gr.	gr.			liv.	on.	gr.	gr.
409	10	»	54	d'oxygène.	de l'eau	347	10	»	59
					de l'acide carbonique	25	7	1	34
					de l'alkool	31	6	1	64
					de l'acide acéteux	1	11	4	»
					du résidu sucré	2	9	7	27
					de la levure		13	1	14
28	12	5	59	de carbone.	de l'acide carbonique	9	14	2	57
					de l'alkool	16	11	5	63
					de l'acide acéteux		10	»	»
					du résidu sucré	1	2	2	53
					de la levure		6	2	30
71	8	6	66	d'hydrogène.	de l'eau	61	5	4	27
					de l'eau de l'alkool	5	8	5	3
					combiné avec le carbone dans l'alkool	4	»	5	»
					de l'acide acéteux		2	4	»
					du résidu sucré		5	1	67
					de la levure		2	2	41
		2	37	d'azote				2	37
510	»	»	»			510	»	»	»

Lavoisier não comentou sobre as diferenças consideráveis entre os pesos inicial e final dos elementos, que chegava a aproximadamente 2 *livres* nos casos do oxigênio e do hidrogênio. Transformando em quilogramas e arredondando seus dados, a massa inicial do oxigênio era de 201,577 kg e, depois da fermentação, era de apenas 200,516 kg – uma aparente perda de 0,5% do peso de oxigênio. No caso do hidrogênio, a massa inicial era de 33,980 kg e, depois da reação, havia aumentado para 35,026 kg – um acréscimo aparente de 3%. Seguindo um ponto de vista estritamente empirista, o experimento de Lavoisier teria *refutado* a conservação da massa de cada elemento químico, na reação de fermentação.

Devemos entender que a quantidade de cada elemento não era *medida*: era *calculada* a partir da análise de cada produto, seguindo os resultados de experimentos anteriores. A aparente violação da lei de conservação da massa mostra que a análise realizada por Lavoisier sobre a composição de cada substância tinha erros significativos, entre 3% e 5%.

No final do mesmo capítulo de seu livro, Lavoisier afirmou:

> Terminarei o que tenho a dizer sobre a fermentação do vinho, notando que ela pode proporcionar um método para analisar o açúcar e todas as substâncias vegetais fermentáveis. Realmente, como já indiquei no início deste artigo, posso considerar as substâncias submetidas à fermentação e o resultado obtido depois da fermentação como se formassem uma equação algébrica; e supondo sucessivamente como incógnitas cada elemento dessa equação, posso obter dela um valor e assim corrigir a experiência pelo cálculo e o cálculo pela experiência. Frequentemente eu aproveitei esse método para corrigir os primeiros resultados de meus experimentos, e para me guiar com relação às precauções que deveriam ser tomadas para repeti-los. [...] (LAVOISIER, 1789, v.1, p.151).

Portanto, Lavoisier reconheceu que utilizava a lei de conservação da massa para *corrigir* os resultados de seus experimentos. Ele ajustava os números obtidos, de tal modo que houvesse uma igualdade exata entre a soma das massas das substâncias reagentes e a de seus produtos.

> Nas publicações de Lavoisier, os valores numéricos das quantidades das substâncias sempre concordam 100% com os produtos das reações, com seus elementos componentes. Isso é bom demais para ser verdade e ele próprio o admitiu, quando disse que corrigia "a experiência pelo cálculo" (HOOYKAAS, 1999, p.223).

Quando notava uma discordância, isso não era considerado por ele como uma *refutação* da lei de conservação da massa; mas a anomalia o levava a tomar precauções adicionais nos experimentos seguintes, pois a falta de concordância era interpretada por ele como um *erro do experimento.*

Lavoisier e a conservação do calórico

É interessante apontar que o pensamento de Lavoisier era frequentemente guiado por hipóteses de conservação em vários campos do conhecimento:

> Existe, portanto, pelo menos para a maior parte das produções territoriais do reino da França, uma equação, uma igualdade entre o que é produzido e consumido; assim, para saber o que é produzido, basta conhecer o que é consumido [...] (LAVOISIER, 1791, p.9).

Sabe-se que Lavoisier morreu na guilhotina por causa de seu envolvimento na cobrança de taxas e impostos – e não por seus trabalhos científicos. Em 1770, com 26 anos de idade, Lavoisier

adquiriu uma quota da companhia francesa "Fermegénérale", que coletava impostos para o rei e distribuía uma parte vultosa do dinheiro recebido entre seus membros (AYKROYD, 1935, p.12-17). Seu papel de *fermier general* e outras posições que obteve por causa desse envolvimento – tais como a supervisão da produção de tabaco e pólvora (SCHELER, 1973) – eram as principais fontes de sua riqueza pessoal.

Ele mantinha uma contabilidade financeira detalhada, registrando as quantidades de dinheiro que entravam e saíam, assim como o saldo resultante. É claro que o dinheiro geralmente não desaparece espontaneamente, nem é criado a partir do nada – ele é *conservado* nas transações financeiras. A contabilidade de Lavoisier era semelhante aos seus balancetes sobre a conservação da matéria.

> O seu treino [de Lavoisier] em manter uma contabilidade e preparar balancetes, como *Fermier Général*, influenciou seu trabalho científico e existe uma grande semelhança entre a forma de seus memorandos oficiais (publicados nas *Oeuvres*, especialmente no Vol. VI) e suas memórias científicas (PARTINGTON, 1961-1970, v.3, p.376).
>
> [...] as balanças de Lavoisier eram mais do que um instrumento de precisão. Elas materializaram uma estratégia intelectual de comparar as entradas e saídas, que Lavoisier usava diariamente na sua atividade de contabilidade como coletor de impostos e também em suas reflexões sobre economia racional – tanto doméstica quanto nacional(BENSAUDE-VINCENT; SIMON, 2008, p.86).

Além do princípio de conservação da massa, Lavoisier também aceitava uma outra lei de conservação que foi rejeitada posteriormente: a da quantidade de calor (ou de calórico).

Nos séculos XVII e XVIII, alguns autores consideravam que o calor era um tipo de movimento microscópico invisível das partículas materiais; outros supunham que ele fosse uma substância. Francis Bacon, René Descartes, Robert Boyle e Daniel Bernoulli defenderam a hipótese do calor-movimento; Pierre Gassendi, Leonhard Euler, Herman Boerhaave, Georges-Louis Leclerc (conde de Buffon), Joseph Black, Jean-André De Luc e Johan Carl Wilcke apoiaram o conceito do calor-substância (BARNETT, 1946; BOYER, 1943; MORRIS, 1972, p.28). Os conceitos e experimentos sobre calorimetria, desenvolvidos na segunda metade do século XVIII, estavam associados à suposição de que o calor era uma substância; e após os trabalhos de Wilcke, De Luc e Black,

> [...] o triunfo da primeira dessas teorias parecia completo. A partir de então, o calor foi tratado como uma substância real que passa de um corpo para outro, sem qualquer mudança de sua quantidade (que haviam aprendido a medir) e que, mesmo se deixar de ser manifesto à nossa sensação e se o termômetro não o detectar, continua apesar disso a existir em um estado particular (MEYERSON, 1908, p.173).

Boerhaave tentou medir o peso do calor e foi incapaz de encontrar qualquer mudança de peso de um corpo quando era aquecido, concluindo daí que o calor era uma substância *imponderável* (BOYER, 1943, p.448).

Lavoisier acabou aceitando a ideia da substância imponderável do calor (HOOYKAAS, 1999, p.74), a qual deu vários nomes, tais como "fluido ígneo", "matéria do calor" e, finalmente, a partir de 1787, "calórico" (MORRIS, 1972, p.2)[7]. Em seu tra-

7 O nome "calórico" (*calorique*) foi adotado por ele pela primeira vezno livro *Méthode de Nomenclature Chimique*, escrito conjuntamente por Guyton de Morveau, Lavoisier, Bertholet and Fourcroy (GUYTON DE MORVEAU et

tado de química, o calórico era uma das substâncias elementares (LAVOISIER, 1789, p.192; SIEGFRIED, 1982, p.33), sendo apresentado no primeiro capítulo do *Traité Élémentaire de Chimie*. De acordo com Lavoisier, o calórico não é o próprio calor – é a sua causa (LAVOISIER, 1789, v.1, p.4-5).

Fig. 5. O início da tabela de Lavoisier das substâncias simples (elementos químicos), que começava com luz (*lumière*) e calórico (*calorique*), seguindo com oxigênio, nitrogênio ("azoto"), hidrogênio etc. (LAVOISIER, 1789, v.1, p.192).

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	Noms nouveaux.	*Noms anciens correſpondans.*
Subſtances ſimples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.	Lumière.........	Lumière.
	Calorique.........	Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu. Matière du feu & de la chaleur.
	Oxygène.........	Air déphlogiſtiqué. Air empiréal. Air vital. Baſe de l'air vital.
	Azote............	Gaz phlogiſtiqué. Mofete. Baſe de la mofete.
	Hydrogène.......	Gaz inflammable. Baſe du gaz inflammable.

Uma quantidade de material ponderável pode ser avaliada através de uma balança. No entanto, o calórico é uma substância imponderável, não podendo ser pesado – mas sua quantidade pode ser determinada por experimentos calorimétricos. Seguindo as ideias pioneiras e as pesquisas experimentais de Joseph Black e outros autores anteriores, Lavoisier e Pierre-Simon de Laplace

al., 1787, p.78). Nessa obra o calórico foi descrito como um elemento químico – uma ideia que Lavoisier manteve posteriormente.

(1749-1827) estudaram os fenômenos de transferência de calor entre os corpos, utilizando um calorímetro de gelo bastante sofisticado. Também investigaram o calor gerado (ou liberado) pelas reações químicas e pelos corpos vivos (GUERLAC, 1976). No artigo que publicaram em 1783, descrevendo o instrumento e seu uso (LAVOISIER, 1862, v.2, p.283-333), Lavoisier e Laplace mencionaram as duas teorias opostas sobre a natureza do calor. Laplace preferia a hipótese do calor-movimento, mas Lavoisier adotou o conceito de calor-substância (GUERLAC, 1976, p.244-245). Porém, eles chegaram a um acordo afirmando que as pesquisas que estavam investigando nesse trabalho eram independentes da interpretação adotada (MORRIS, 1972, p.30-31). Em todas essas pesquisas, eles foram guiados pela ideia de que o calor é conservado: ele pode estar oculto nos corpos, mas não pode ser criado nem destruído.

> *A quantidade de calor livre*[8] *permanece a mesma na mistura simples dos corpos*. Isto é evidente se o calor for um fluido que tende ao equilíbrio; e se for simplesmente a força viva[9] que resulta do movimento interno da matéria, o princípio em questão é uma consequência da conservação das forças vivas. Assim, a conservação do calor livre, em uma simples mistura de corpos, é independente de qualquer hipótese sobre a natureza do calor; foi aceita de um modo geral pelos físicos e nós a adotaremos nas pesquisas seguintes (LAVOISIER, 1862, v.2, p.287).

8 Lavoisier entendia o "calor livre" como a parte do calórico que não está combinada quimicamente com substâncias materiais.

9 Dava-se o nome de "força viva" ao produto da massa pelo quadrado da velocidade ($m.v^2$), que é o dobro daquilo que chamamos de energia cinética.

Independentemente da justificativa utilizada, a lei de conservação do calor era admitida por todos os pesquisadores da época que faziam experimentos calorimétricos. Johan Carl Wilcke, Jean-André De Luc e Joseph Black aceitavam a indestrutibilidade do calor, antes Lavoisier (MEYERSON, 1908, p.191). A conservação do calor era *sugerida*, *aceita* e *aplicada* como se fosse uma lei segura, assim como ocorreu com a lei de conservação da matéria. Nos dois casos, não houve a preocupação de testar ou "provar" experimentalmente esses princípios, pois eles pareciam óbvios.

Sabemos que a lei de conservação do calor estava equivocada. Aceitamos que a *energia* é conservada; o calor é uma das muitas formas de energia e pode ser criado e destruído, quando há transformações de energia. O próprio calor não é conservado, exceto em alguns fenômenos muito especiais – aqueles que apenas envolvem a condução de calor entre corpos inertes.

O uso da lei da "conservação do calor" por Lavoisier mostra que esse autor estava fortemente influenciado por ideias gerais de conservação.

Seria a lei de Lavoisier uma verdade a priori?

Retornemos ao princípio de conservação da massa. No experimento sobre fermentação, é evidente que Lavoisier estava *assumindo* e *aplicando* a lei de conservação da massa, mas não a estava *testando*. Na verdade, os historiadores da ciência jamais encontraram um único experimento descrito em seus trabalhos publicados ou nos manuscritos inéditos que pudesse ser interpretado como um teste dessa lei.

Ele a *aplicou* com frequência, muito antes de apresentá-la de forma explícita.

> As aplicações da lei de conservação da massa por Lavoisier foram inspiradas por sua fé em uma verdade que não poderia ser controvertida.

> Assim, em suas primeiras publicações, ele não pesou todas as substâncias que participavam de uma reação, mas usou a lei para obter indiretamente seu peso (HOOYKAAS, 1999, p.222).

De acordo com Holmes, "Seus primeiros experimentos notáveis a respeito da transmutação da água, em 1768-70, se basearam naquele método, que permeou toda sua pesquisa experimental nas duas décadas seguintes" (HOLMES, 1982, p.24; ver detalhes sobre esses experimentos em Martins e Martins (1993, p.249-251)).

Consultando vários dos trabalhos de Lavoisier, é possível notar que ele interpretava a conservação da massa como uma proposição óbvia, semelhante à igualdade entre a adição de dois termos e o valor de sua soma. Na sua memória sobre a decomposição da água (1781)[10], depois de descrever a queima de hidrogênio e oxigênio, ele afirmou:

> [...] não pudemos determinar a quantidade exata dos dois ares [gases] com os quais produzimos a combustão; mas como na física não é menos verdade que na geometria, que o todo é igual às suas partes; então, pelo fato de que obtivemos apenas água pura neste experimento, sem qualquer outro resíduo, pensamos que estávamos justificados em concluir que o peso da água era igual ao dos dois ares que serviram para produzi-la (LAVOISIER, 1862, p.338-339).

A matemática era considerada como um conhecimento *a priori*; portanto, a afirmação de Lavoisier "como na física não é

10 O trabalho completo é reproduzido no segundo volume das suas *Oeuvres* (LAVOISIER, 1862, p.334-359): "Mémoire dans lequel on a pour objet de prouver que l'eau n'est point une substance simple, un élément proprement dit, mais qu'elle est susceptible de décomposition et de recomposition" (1781).

menos verdade que na geometria, que o todo é igual às suas partes" parece indicar que ele também considerava a lei de conservação da massa como algo inquestionável e apriorístico. Realmente, em uma passagem ele usa explicitamente a designação "*a priori*" para descrever aquela ideia:

> Este experimento deu resultados semelhantes aos do anterior. Seu resultado também foi o de que quando o fósforo queimou, ele absorveu um pouco mais do que uma vez e meia seu peso de oxigênio, e também obtive a certeza de que o peso da nova substância que foi produzida era igual à soma dos pesos do fósforo que queimou e do oxigênio que ele absorveu – e isso era fácil de prever *a priori* (LAVOISIER, 1789, v.1, p.63).

Em um outro trabalho em que descreveu a combustão de álcool, óleo e outras substâncias (LAVOISIER, 1784)[11], ele caracterizou a conservação da massa como "evidente":

> A combustão do azeite de oliva não apresenta tanta incerteza quanto aquela do espírito do vinho, pois o azeite de oliva não se volatiza tão facilmente; pode-se conhecer com precisão rigorosa a quantidade que queimou, pela diferença dos pesos determinados antes e depois da combustão. [...]
>
> Quanto à água que foi formada, ela não pôde ser coletada nem pesada e eu expliquei em outro lugar a razão disso; o mesmo ocorre com o espírito do vinho; portanto eu a determinei pelo cálculo, sempre partindo da suposição de que o peso dos materiais é o mesmo antes e depois da operação, o que eu considero como evidente [...] (LAVOISIER, 1862, p.595).

11 "Mémoire sur la combinaison du principe oxygine avec l'esprit de vin, l'huile et différents corps combustibles" (LAVOISIER, 1862, p.586-600).

No caso específico das pesquisas de Lavoisier, a lei de conservação do peso não foi nem provada nem descoberta a partir de experimentos; e ele não teve a preocupação de testá-la. Fica claro que ele não a considerava como uma lei empírica ou algo que pudesse ser confirmado. Ela lhe parecia uma verdade *a priori*, bastante óbvia.

Mas o leitor deste trabalho pode ficar perplexo: se a igualdade do peso dos materiais antes e depois de uma reação química é *evidente*, por que não foi utilizada antes de Lavoisier? Na verdade, ela foi bastante utilizada antes do químico francês.

> A maioria dos estudantes de química aprendeu que foi Lavoisier quem introduziu o conceito de conservação da matéria na química, usando esse princípio para descartar o elemento imaginário do flogisto.
>
> No entanto, a conservação da matéria é uma suposição básica que subjaz a física antiga. Uma grande maioria dos filósofos gregos e dos cientistasmodernos antigos considerava que a matéria era eterna e indestrutível, sem ter qualquer evidênciaexperimental para isso. A conservação da matéria está embebida tão profundamente na ciência ocidental que o filósofo Émile Meyerson a considerou como uma suposição metafísica *a priori* e como o fundamento necessário para toda pesquisa científica (BENSAUDE-VINCENT; SIMON, 2008, p.115-116)[12].

Como já foi mencionado antes, a principal causa desse equívoco histórico tão comum entre professores e estudantes de química (e de outras disciplinas) é o epônimo “Lei de Lavoisier”.

---

12 Como veremos mais adiante, essa não é uma interpretação totalmente correta sobre as ideias de Émile Meyerson.

Qualquer pessoa, ao estudar pela primeira vez um princípio com esse nome, será levada a pensar assim: "Se a lei de conservação da massa é atribuída a alguém chamado Lavoisier, essa pessoa deve ter sido a *primeira* a provar, ou descobrir, ou enunciar, ou usar esse princípio... caso contrário, não teria esse nome, não é?" Porém, neste caso – como na quase totalidade dos epônimos – a homenagem que é prestada a um cientista dando-lhe o nome de alguma contribuição científica não deve ser considerada como indicando autoria ou prioridade. De um modo geral, os epônimos são desprovidos de significado e transmitem uma visão equivocada sobre a história da ciência(MARTINS, 2015).

Não é possível descrever aqui os autores que, antes de Lavoisier, enunciaram e utilizaram a lei de conservação da massa (ou do peso). Podem ser encontrados vários exemplos na obra de Émile Meyerson (1908, cap.4) e em nosso trabalho anterior (MARTINS; MARTINS, 1993, p.246-247).

Nenhum dos cientistas ou filósofos que aceitaram o princípio da conservação da massa (ou do peso) até a época de Lavoisier tentou prová-lo através de experimentos. Todos o admitiam como uma verdade *a priori* evidente ou óbvia.

O que aconteceu posteriormente? Embora Lavoisier não tenha se interessado em testar o princípio de conservação da massa, poderia ter ocorrido que outros pesquisadores posteriores o tivessem testado e corroborado. Talvez os químicos, professores e estudantes, acreditem que isso *deve* ter acontecido. Vejamos qual era a situação no início do século XX – ou seja, mais de um século após a morte de Lavoisier

> Qual é a situação atual sobre essa questão? Desde Lavoisier, a balança se tornou o instrumento preferido do químico; e poder-se-ia dizer – esta é a opinião do sr. Ostwald, por exemplo – que em certo sentido cada análise quantitativa realizada por um químico equivale

> a uma verificação da conservação da matéria. No entanto, não devemos tentar assumir uma prova tão grande. Essas análises, em geral, apenas concordam *grosso modo*; é raro que em qualquer série um pouco complexa de operações, não sejam observados desvios grandes demais para serem atribuídos aos instrumentos de medida – como o sr. Ostwald é obrigado a admitir (MEYERSON, 1908, p.157).

Assim como tinha ocorrido até Lavoisier, a maioria dos químicos, depois dele, simplesmente aceitou o princípio de conservação da massa, sem se dar ao trabalho de testá-lo. Mas a situação mudou no final do século XIX.

> Quando foi feito um esforço para verificar diretamente e com grande precisão a conservação do peso nos fenômenos químicos, nem sempre houve sucesso na obtenção de resultados que confirmasse esse princípio de forma absoluta. É bem conhecido que foram notadas anomalias muito recentemente pelo sr. Landolt. Os resultados do químico alemão,[13] embora questionadas algumas vezes, aprecem ter sido recebidas, em geral, com pouco ceticismo pelo mundo científico (MEYERSON, 1908, p.158).

As pesquisas de Hans Landolt sobre a conservação da massa produziram um forte impacto entre os físicos e químicos do final do século XIX e início do século XX. Atualmente, elas são desconhecidas não apenas pelos cientistas, mas também pela quase totalidade dos historiadores da ciência. Não é possível apresentá-las aqui. Em outros trabalhos, analisei esse interessante episódio

13 Landolt nasceu na Suíça, embora tenha realizado grande parte de seu trabalho na Alemanha.

(ver detalhes em MARTINS (2019); MARTINS (1993); ver também CERRUTI (1996)).

Dentre os poucos autores posteriores que se referiram à pesquisa de Landolt, a maioria a considerou como uma *prova* da lei de conservação da massa (ou do peso) nas reações químicas (LAUE, 1959, p.509-510). Como já mencionamos, é impossível produzir uma prova experimental de que o peso se conserva *exatamente*, para *qualquer* reação química. Tudo o que pode ser admitido com segurança é que *para um determinado conjunto de reações químicas*, estudadas sob tais e tais condições, não foi observada nenhuma mudança de peso *superior ao erro experimental*. Porém, o princípio é considerado *exato* e válido *em todas as situações*, extrapolando qualquer tipo de teste empírico que possa ser feito. Émile Meyerson comentou:

> Segue-se da informação que apresentamos resumidamente que mesmo no momento presente [início do século XX] a certeza com a qual o princípio de conservação da matéria parece estar investido é muito superior à que é permitida pelos experimentos que supostamente lhe servem de base (MEYERSON, 1908, p.158).

Émile Meyerson sobre as leis de conservação e o princípio de causalidade

Como já foi apontado acima, embora muitos autores antes de Lavoisier aceitassem e utilizassem o princípio de conservação do peso, nem todos o consideravam verdadeiro. Desde a Antiguidade até o século XVIII, alguns importantes pensadores o negavam – incluindo Aristóteles e Descartes (MEYERSON, 1908, cap. IV). Mas se o princípio fosse uma verdade *a priori*, evidente ou óbvia, não deveria ser aceito por todos? Será que esses que o negavam eram incapazes de compreendê-lo?

Foi Émile Meyerson quem apresentou pela primeira vez uma análise profunda desse problema histórico, no seu livro *Identité et Réalité* (1908). Sua tese principal é de que existe um princípio *filosófico* apriorístico que sempre foi aceito – o princípio da causalidade – que é amplo e vago, impossível de ser submetido a qualquer teste empírico porque não produz nenhuma previsão observacional definida. Por outro lado, existem vários princípios *científicos* de conservação que possuem uma forma semelhante a do princípio de causalidade; eles podem ser submetidos a testes experimentais; mas às vezes são interpretados, de forma equivocada, como verdades *a priori* por causa de sua semelhança com o princípio de causalidade.

O que Meyerson queria dizer quando falava sobre o princípio de causalidade? Ele adotou um significado específico de causa, que corresponde aproximadamente à "causa material" de Aristóteles (DROUIN, 1964) – ou seja, alguma coisa constante subjacente às mudanças ou fenômenos (FOLLON, 1988). Meyerson enfatizou a interpretação da causalidade que pressupõe uma igualdade entre causa e efeito, sendo equivalente "à fórmula bem conhecida dos escolásticos, *causa aequat effectum*" (MEYERSON, 1908, p.16).

O universo está repleto de fenômenos, ou seja, mudanças e transformações. Desde a Antiguidade, muitos filósofos (e, depois, cientistas) têm procurado algo constante por trás dos eventos mutáveis, algo que continua igual antes e depois que ocorre a mudança. Essa foi a motivação dos primeiros filósofos gregos que buscaram o substrato invisível da natureza – e, mais especificamente, da teoria atomística (MEYERSON, 1908). Essa busca também é a motivação de todas as leis de conservação que foram propostas nas ciências, pois todas elas afirmam que alguma coisa é constante no tempo, embora estejam ocorrendo mudanças observáveis.

De acordo com Meyerson, a busca da constância subjacente aos fenômenos não é um resultado da pesquisa empírica – é uma

exigência de nossa razão; e ela nunca pode ser plenamente satisfeita, pois existem mudanças no mundo – nem tudo é constante. Assim, o princípio da causalidade nos impele a procurar entidades que não mudam, sabendo que elas são uma exceção. O princípio da causalidade não é uma descrição do mundo e sim uma exigência que impomos à nossa descrição da realidade. Em cada caso particular, podemos encontrar – ou não – a grandeza ou entidade imutável específica daquela situação. No entanto, poderia ocorrer que o universo não tivesse nada constante ou permanente.

> O caminho seguido por nosso entendimento ao aplicar o princípio de identidade esclarece o que pode produzir equívocos, nesse assunto. Houve princípios de conservação que foram propostos e que a ciência teve depois que abandonar completamente; ou foi necessário transformar radicalmente seu conteúdo, mudando a expressão daquilo que é conservado. Em nosso trabalho encontramos exemplos dos dois casos. O princípio de Black de conservação do calórico pertence à primeira categoria: essa proposição parece atualmente claramente errada e, além disso, entra em contradição com fatos da experiência vulgar, tais como o calor produzido pelo atrito. No entanto, foi aceita durante um longo tempo como possuindo um fundamento seguro, como uma das bases mais sólidas da física (MEYERSON, 1908, p.370)

Quando o princípio de causalidade, entendido sob esta forma, é aplicado ao conceito de matéria, ele gera o princípio de conservação da matéria. Em sua formulação mais geral, ele afirma que, embora a matéria visível sofra mudanças, há alguma matéria primordial que não muda e é constante em todos os fenômenos. A matéria primordial de Aristóteles era diferente da matéria primordial dos atomistas gregos, ou da matéria primordial de Descartes;

mas o princípio geral era o mesmo. Durante o século XIX, alguns químicos (como John Dalton) aceitaram a existência de átomos imutáveis que permanecem constantes nas transformações químicas. Outros (como Wilhelm Ostwald) não acreditavam na existência de átomos, mas admitiam elementos químicos imutáveis. Assim, o princípio de conservação da matéria pode ser satisfeito de muitas formas diferentes e mutuamente incompatíveis.

Na Antiguidade, alguns filósofos como Platão e Aristóteles, não aceitavam a conservação do peso. Eles acreditavam que os quatro elementos materiais (terra, água, ar e fogo) podiam se transformar um no outro. A água é pesada e cai para o chão, mas pode se transformar em ar (vapor) que é leve e se afasta do solo. Em muitos casos como esse, supunha-se que o peso havia desaparecido ou mudado. Para muitos filósofos, o peso era uma qualidade acidental da matéria, como cor ou forma – e nenhuma dessas qualidades é preservada nas transformações da matéria (MEYERSON, 1908, p.139). A mesma forma de pensamento foi predominante na Idade Média. O princípio de causalidade era sempre aceito e os filósofos

> [...] certamente estavam convencidos de que alguma coisa essencial na matéria, sua *substância*, era mantida durante suas modificações. No entanto, como o conceito de matéria estava separado do de peso, tornou-se difícil proporcionar uma base quantitativa para a matéria (MEYERSON, 1908, p.142).

A conservação da matéria pode ser considerada como um princípio *qualitativo*; ou pode ser tomado como um princípio *quantitativo*. No segundo caso, torna-se o princípio de conservação da *quantidade* de matéria. Mas como devemos interpretar e medir a "quantidade de matéria" que permanece a mesma, antes e depois das transformações visíveis das substâncias? Será a massa,

ou alguma outra quantidade, como seu volume ou seu número de átomos? O princípio de causalidade, sozinho, é incapaz de proporcionar qualquer interpretação específica e, portanto, não pode existir uma ciência racional pura (MEYERSON, 1908, p.369).

Algo semelhante ocorre com todos os princípios de conservação. Existe uma lacuna na passagem do princípio de causalidade para a formulação de qualquer lei de conservação específica; essa lacuna não pode ser preenchida apenas de modo racional. O princípio de causalidade é *a priori* e inquestionável. Cada lei de conservação em particular que jamais foi proposta na ciência pode ser submetida a testes e não contém o mesmo grau de certeza que o princípio de causalidade. Apenas a pesquisa empírica pode indicar se alguma propriedade (ou grandeza) permanece constante ou não, nos fenômenos. Portanto, toda lei de conservação contém dois componentes: a estrutura ou forma do princípio, que é *a priori* e provém do princípio de causalidade; e a interpretação específica sobre o que permanece constante, ou seja, seu conteúdo científico, que é *a posteriori* e vem da experiência. Assim, Lavoisier e os outros pensadores que supunham que a lei de conservação da massa (ou do peso) era evidente e apriorística estavam equivocados, pois não compreendiam o verdadeiro *status* epistemológico desse princípio.

Poderíamos pensar que os *cientistas* não possuíam uma profundidade filosófica suficiente para compreender que a lei de conservação da massa (ou peso) não poderia ser um princípio *a priori*; mas que isso devia ser evidente para todo *filósofo*. Não é verdade. No século XVIII, um dos mais importantes filósofos de todos os tempos, Immanuel Kant, defendeu uma prova apriorística do princípio. Depois dele, outros seguiram a mesma linha de interpretação.

> Kant se preocupou com essa questão muitas vezes. [...] Ele se explicou de um modo mais detalhado nos *Primeiros Princípios Metafísicos da Ciência e da Natureza*. Lá, ele assim exprime

> o seu “primeiro teorema da mecânica”: “Em todas as modificações da natureza material, a quantidade de matéria permanece a mesma, sem aumento e sem diminuição”. Na “demonstração” desse teorema, Kant faz uso do princípio que ele toma emprestado da “metafísica geral”, que afirma que em todas as modificações da natureza, não há criação nem destruição da substância. Depois ele determina que a substância, para a matéria, é sua quantidade [...] (MEYERSON, 1908, p.159).

Na filosofia aristotélica, que Kant tomou como ponto de partida, o conceito de “substância” corresponde à “causa material”, que não se modifica durante os fenômenos. Mas esse conceito filosófico de “conservação da substância” não é igual à lei quantitativa e testável de conservação da massa ou peso – e Aristóteles aceitava a “conservação da substância” sem aceitar a conservação do peso. Kant, porém, foi passando do princípio filosófico abstrato (e que não pode ser testado), através de uma série de etapas, até chegar à conservação do peso: a conservação da substância, no caso da matéria, seria a conservação da quantidade de matéria; e a quantidade de matéria seria o peso ou a massa da matéria. Porém, esses passos não são (nem podem ser) justificados *a priori* e a “demonstração” de Kant não é correta.

Meyerson também discutiu as “provas” *a priori* de outros autores (Arthur Schopenhauer, William Whewell e Herbert Spencer) e mostrou que eles também confundiram os conceitos empíricos quantitativos de peso ou massa com o conceito filosófico de substância (MEYERSON, 1908, p.160-161). Portanto, essas “provas” apriorísticas são inaceitáveis.

> Na base do princípio de conservação da matéria há três noções distintas: matéria, peso e massa. “Matéria” é uma noção de senso comum, muito complexa, que sintetiza um número infinito de propriedades. É claramente contrário mesmo

> à experiência mais superficial supor a conservação de todas essas propriedades. Portanto, ao manter a conservação da matéria, somente se postula a permanência de algumas dentre elas; essa é a razão pela qual esse enunciado não pode interessar á ciência enquanto não se elucida de modo preciso o que deve ser conservado (MEYERSON, 1908, p.162).

Podem ser medidas muitas propriedades diferentes da matéria: sua temperatura, seu tamanho, sua cor, sua capacidade térmica, sua densidade etc. Qual ou quais dessas propriedades são conservadas, e por que? Isso só pode ser descoberto *a posteriori*, através de experimentos. Não existe qualquer conexão lógica entre massa (ou peso) e a noção filosófica de matéria. No entanto, quando não se percebe a enorme distância entre tais conceitos, parece possível deduzir a lei da conservação da massa (ou peso) do princípio apriorístico de causalidade, como se não fosse necessário nenhum estudo empírico.

De acordo com Meyerson, as leis científicas de conservação nem são *a priori* nem *a posteriori*, embora contenham componentes dos dois tipos. Na falta de uma terminologia melhor, ele as descreveu como leis *plausíveis*.

> [...] interpretado literalmente, o princípio da identidade no tempo significaria: tudo se mantém – uma afirmação que é negada imediatamente pela experiência; [...]. Assim, a afirmação se torna: algumas coisas essenciais se mantêm. Mas esta é uma fórmula indefinida, pois não nos diz quais são as coisas que persistem e que, consequentemente, deveríamos considerar como essenciais. É apenas a experiência que pode nos ensinar isso. Mas nesse caso a experiência desempenha um papel peculiar, no sentido de que ela não é livre, pois obedece ao princípio de causalidade,

> que podemos denominar mais precisamente como tendência causal, pois manifesta sua ação obrigando-nos a buscar na diversidade dos fenômenos alguma coisa que se mantém. De acordo com a expressão admirável de Boutroux, a fórmula não constitui uma lei, mas sim um "molde" de leis.
>
> A partir daquilo que já argumentamos [...] podemos tirar esta conclusão geral: toda proposição que estipula uma identidade no tempo nos parece investida *a priori* com um algo grau de probabilidade. Ela encontra nossas mentes preparadas, ela as seduz e é adotada imediatamente, a menos que seja contrariada por fatos muito evidentes. Talvez fosse sábio aplicar a afirmações dessa categoria, intermediárias entre o *a priori* e o *a posteriori*, um nome especial. Proporemos, por falta de um melhor, o termo *plausível*. Então, toda proposição que estipula uma identidade no tempo, toda lei de conservação, é plausível (MEYERSON, 1908, p.133-134).

Assim, Meyerson introduziu o nome "plausível" para essas afirmações sobre conservação ou constância, que não são completamente *a priori* nem totalmente *a posteriori*. Em minha opinião, sua escolha terminológica não foi boa, porque "plausível" é comumente compreendido como equivalente a "provável". Com a exceção desse nome, concordo com a interpretação de Meyerson sobre as leis de conservação.

Comentário final

O estudo histórico e epistemológico sobre a lei de conservação da massa (e também de outras leis de conservação, como a da energia – ver Martins (1984)) proporciona um exemplo notável de

influência de concepções filosóficas na ciência. O princípio filosófico de permanência da substância, ou das causas materiais – a lei de causalidade discutida por Émile Meyerson – não é um resultado científico: é um princípio *a priori* que moldou o desenvolvimento das leis de conservação. Este estudo de caso aqui apresentado é relevante para o ensino da química (e da ciência, em geral), porque mostra claramente que pode ocorrer a influência de princípios filosóficos no desenvolvimento científico, proporcionando assim um claro exemplo contra a visão indutivista da ciência.

O objetivo deste trabalho não foi o de *defender* a interpretação de Émile Meyerson sobre as leis de conservação (e, particularmente, sobre o princípio de conservação da massa). As ideias de Meyerson não precisam de meu apoio – elas foram bem fundamentadas por seu autor. Infelizmente, o estilo prolixo desse filósofo francês não ajudou na difusão de seu pensamento; e seu trabalho não é tão bem conhecido quanto merece, na França ou em outros países. Acredito que suas ideias epistemológicas peculiares, fundamentadas em pesquisa histórica correta, merecem ser mais divulgadas – e que podem ajudar a evitar que cientistas, professores e estudantes adotem a interpretação empirista ingênua sobre a natureza da ciência.

Referências

AYKROYD, Wallace Ruddell. **Three philosophers: Lavoisier, Priestley and Cavendish**. London: Heinemann, 1935.

ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, v.13, p.179-195, 2004.

BARNETT, Martin K. The development of the concept of heat. **The Scientific Monthly**, v.62, n.2, p.165-172; n.3, p.247-257, 1946.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette; JOURNET, Nicolas. Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se pèse. **Les Cahiers de Science et Vie**, n.14, p.42-62, Avril, 1993.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette; SIMON, Jonathan. **Chemistry, the Impure Science**. London: Imperial College Press, 2008.

BOYER, Carl B. History of the measurement of heat I. Thermometry and calorimetry. **The Scientific Monthly**, v.57, n.5, p.442-452, 1943.

BUNGE, Mario. **Scientific Research II: The Search for Truth.** Berlin: Springer, 1967.

CERRUTI, Luigi. Atomi, elementi chimici, etere ponderabile, modelli ed esperimenti di fine ottocento. In TUCCI, Pasquale (ed.). **Atti del XVI Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia**. Como: Centro di Cultura Scientifica Alessandro Volta. Available online: <http://www.sisfa.org/pubblicazioni/atti-del-xvi-convegno-sisfa-como-1996/> 1996.

GUERLAC, Henry. Chemistry as a branch of physics: Laplace's collaboration with Lavoisier. **Historical Studies in the Physical Sciences**, v.7, p.193-276, 1976.

GUYTON DE MORVEAU, Louis Bernard; LAVOISIER, Antoine-Laurent de; BERTHOLLET, Claude-Louis; FOURCROY, Antoine François de. **Méthode de nomenclature chimique.** Proposée par MM. de Morveau, Lavoisier, Bertholet, et de Fourcroy; on y a joint un nouveau système de caractères chimiques, adaptés à cette nomenclature, par MM. Hassenfratz, Adet. Paris: Cuchet, 1787.

HAVEN, Kendall. **100 Greatest Science Discoveries of All Time**. Westport: Libraries Unlimited, 2007.

HOLMES, Frederic L. Lavoisier the experimentalist. **Bulletin for the History of Chemistry,** v.5, p.24-31, 1982.

HOOYKAAS, Reijer. **Fact, Faith and Fiction in the Development of Science.** The Gifford Lectures Given in the University of St Andrews 1976. Dordrecht: Springer Science, 1999.

LAUE, Max von. Inertia and energy. v.2, p.503-533, in: SCHILPP, Paul Arthur (ed.). **Albert Einstein, philosopher-scientist.** New York: Harper and Brothers, 1959.

LAVOISIER, Antoine-Laurent de. **Résultats d'un ouvrage intitulé, De la richesse territoriale du royaume de France.** Paris: Imprimérie Nationale, 1791.

LAVOISIER, Antoine-Laurent de. **Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes.** Paris: Chez Cuchet, 1789. 2 vols.

LAVOISIER, Antoine-Laurent de. **Oeuvres de Lavoisider. Tome II. Mémoires de chimie et de physique.** Paris: ImprimérieImpériale, 1862.

LEICESTER, Henry M. Lomonosov's views on combustion and phlogiston. **Ambix,** v.22, n.1, p.1-9, 1975.

MARION, Jerry. **Physical Science in the Modern World**. 2nd edition. Saint Louis: Elsevier Science, 2014.

MARTINS, Roberto de Andrade. Mayer e a conservação da energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v.6, p.63-95, 1984.

MARTINS, Roberto de Andrade. Os experimentos de Landolt sobre a conservação da massa. **Química Nova**, v.16, n.5, p.481-490, 1993.

MARTINS, Roberto de Andrade. Eponyms as a stumbling block in the way of an adequate history of science. Paper 64, p.1-9, In: **IHPST 13th Biennial International Conference.** Rio de Janeiro, IHPST, 2015.

MARTINS, Roberto de Andrade. Émile Meyerson and mass conservation in chemical reactions: a priori expectations versus experimental tests. **Foundations of Chemistry**, v.21, 2019. DOI 10.1007/s10698-018-09331-2

MARTINS, Roberto de Andrade; MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. Lavoisier e a conservação da massa. **Química Nova,** v.16, n.3, p.245-256, 1993.

MEYERSON, Émile. **Identité et Réalité.** Paris: Félix Alcan, 1908.

MORRIS, Robert J. Lavoisier and the caloric theory. **The British Journal for the History of Science**, v.6, n.1, p.1-38, 1972.

PATY, Michel. Masse (de Newton à Einstein). p.613-616, In: LECOURT, Dominique (ed.). **Dictionnaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences.** Paris: Presses Universitaires de France, 1999.

POMPER, Philip. Lomonosov and the discovery of the law of the conservation of matter in chemical transformations. **Ambix,** v.10, n.3, p.119-127, 1962.

SCHELER, Lucien. Lavoisier et la régie des poudres. **Revue d'Histoire des Sciences**, v.26, n.3, p.193-222, 1973.

SIEGFRIED, Robert. Lavoisier's table of simple substances: Its origin and interpretation. **Ambix**, v.29, n.1, p.29-48, 1982.

USITALO, Steven. **The invention of Mikhail Lomonosov: a Russian national myth.** Boston: Academic Studies Press, 2013.

MAGNETISMO E CONDUÇÃO DE CALOR NO TRABALHO DE SEEBECK: DESAFIOS DA CIÊNCIA EXPERIMENTAL

Ana Paula Bispo da Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)
anabispouepb@gmail.com

Introdução

Pesquisas envolvendo a história da ciência e o ensino de ciências incluem o uso de experimentos como parte da aprendizagem por investigação (ou problematização). De forma complementar à discussão sobre natureza da ciência, experimentos baseados em estudos de caso históricos permitiriam também o desenvolvimento de competências procedimentais e habilidades argumentativas. Isto porque considera-se que experimentos e instrumentos históricos representam contextos que vão além da ciência, e trazem de forma explícita ou implícita, representações sociais, culturais e materiais de um determinado período. Ainda, procedimentos experimentais correspondem a mudanças na própria forma de se pensar a ciência e foram se alterando ao longo da história da ciência (SHAPIN, 1982; JARDIM; GUERRA, 2017).

Questões associadas a equipamentos, precisão, exatidão, modelos, etc., interferiram no modo de "experimentar" sobre a ciência. Se durante o século 17 os experimentos e equipamentos tinham como principal função imitar um fenômeno observado na natureza; a partir do século 18, quando a eletricidade e o magnetismo começam a ser estudados mais profundamente, experimentos e instrumentos passam a ser "criados". A partir do

século 19, experimentos e instrumentos representam mais teorias e modelos preexistentes do que a própria natureza (HEERING; HÖTTECKE, 2014).

Abordar as mudanças pelas quais o modo de fazer ciência passou, bem como seus procedimentos, faz parte das recomendações para o ensino de ciências. É a partir do conhecimento destas mudanças, ou seja, da abordagem histórica, que se torna possível discutir a não linearidade e não neutralidade da ciência e rever visões sobre o método e o conhecimento científico (CACHAPUZ et al., 2011). Entretanto, assim como outras metodologias no ensino de ciências, a abordagem histórica ainda precisa lidar com algumas dificuldades. Uma delas está relacionada a uma interpretação inadequada dada a estudos de caso históricos. O uso de narrativas históricas lineares e aproblemáticas, mesmo quando envolvem experimentos, reforçam uma visão positivista e indutivista da ciência. Por esta visão, a abordagem histórica não contribui para o reconhecimento da ciência como um conhecimento complexo, mas antes enfatiza sua falsa superioridade e neutralidade (HÖTTECKE; SILVA, 2011).

Um suposto modo de contribuir para a aprendizagem da ciência a partir da abordagem histórica seria associando aspectos da natureza da ciência aos conceitos teóricos e práticas experimentais. Desta forma, a história da ciência não seria utilizada apenas como ilustrativa ou como pretexto, mas faria parte do próprio conteúdo curricular, explicitando conceitos, procedimentos e atitudes que se pretende abordar em sala de aula. Se características do trabalho científico, como modelos matemáticos e teóricos e hipóteses teóricas e experimentais fossem explicitadas nas narrativas históricas utilizadas em sala de aula, talvez houvesse menor rejeição à utilização da abordagem histórica por parte dos professores. Conforme apontam Höttecke e Silva (2011), um dos obstáculos para os professores utilizarem a abordagem histórica em sala de aula é o fato dela não conter a dificuldade esperada das ciências exatas, nem tampouco sua exatidão.

A utilização de estudos de casos históricos, teóricos ou experimentais, em que não há uma solução correta a encontrar, é uma possibilidade para remediar essa situação, inserindo elementos investigativos nas aulas de ciências. As possíveis montagens e testes seriam planejadas e executadas pelos estudantes, discutindo e interagindo entre si, em busca de um consenso. Como prevê a aprendizagem por investigação (CARVALHO, 2013), esse tipo de atividade permite desenvolver várias competências entre os estudantes, como argumentação e interpretações conceituais.

O século 19 possui muitos casos históricos que permitem esta abordagem, principalmente nos estudos relacionados à eletricidade, calor e magnetismo. Além disso, é nesse século que as consequências das duas revoluções, a industrial e a francesa, influenciam a ciência, criando novos interesses e classes sociais ligadas aos avanços tecnológicos e científicos (JARDIM; GUERRRA, 2017). Foi a partir do século 19 que braços da ciência, como eletricidade, magnetismo, óptica, mecânica e física térmica passaram a ser inter-relacionados e começaram a ser unificados (PURRINGTON, 1997, p.32). Por outro lado, diferentes interpretações da natureza também estavam simultaneamente vigentes: uma visão mecânica e utilitarista, influenciada pela revolução industrial na Inglaterra; uma visão idealista remanescente da revolução iluminista na Françaeuma visão romântica na Alemanha (CUNNIGHAM; JARDINE, 1990).

Visando a utilização de um estudo de caso histórico como estruturante de uma sequência didática baseada no ensino por investigação, este trabalho explora os experimentos realizados por Thomas Johann Seebeck (1770-1831) durante a primeira metade do século 19. A escolha por este episódio envolveu vários fatores. Um deles está associado a projeto anterior[14] que desenvolvi em que

14 Trata-se de projeto desenvolvido no Edital Universal do CNPq de 2012 a 2015. Vários trabalhos decorrentes desse projeto podem ser encontrados em Silva e Guerra (2015).

os temas eletricidade, magnetismo e calor foram trabalhados de maneira separada, tanto do ponto de vista histórico quanto experimental. Ao desenvolver esse projeto, observei que alguns estudos de casos históricos sobre esses temas tinham pontos em comum, como por exemplo a influência da *Naturphilosophie*. Outro aspecto comum era a adoção de entes imponderáveis na explicação de fenômenos, como eletricidade, magnetismo, flogisto e posteriormente o calórico. Tanto para os estudos de eletricidade e magnetismo, como aqueles associados ao calor, a atividade experimental assumia um papel preponderante para a compreensão da natureza e o estabelecimento de leis que explicavam seu funcionamento. Estes três fatores – a influência da *Naturphilosophie*, a presença de ente imponderável e a ênfase na atividade experimental – caracterizam o trabalho de Seebeck na obtenção da relação entre magnetismo e calor.

Outro aspecto que levou à escolha deste episódio está relacionado à distorção histórica quanto ao significado do "efeito Seebeck". Em seu trabalho, Seebeck busca uma relação entre magnetismo e calor; porém o efeito Seebeck atualmente corresponde à relação entre eletricidade e calor (FERREIRA; SILVA, 2016; SILVA, 2019). O que teria levado a essa distorção? Seriam problemas na execução, na interpretação ou na divulgação do trabalho por Seebeck? Portanto, o episódio apresenta vários aspectos para serem explorados numa proposta didática usando a abordagem histórica e experimental, permitindo a discussão de aspectos científicos e metacientíficos.

Neste capítulo me restringirei aos estudos histórico e experimental realizados para aprofundamento do trabalho de Seebeck, indicando os caminhos que segui durante a pesquisa. Estes estudos foram desenvolvidos durante minha estadia na Europa-Universität Flensburg, na Alemanha, em parceria com o grupo do Professor Peter Heering[15]. Ao final, indico alguns elementos

---

15 Participação como professor visitante no exterior, sob financiamento da CAPES (processo PVE Júnior 88881.172857/2018-01).

que julgo serem importantes fazer parte da sequência didática. No entanto, tanto a elaboração como a execução da sequência serão feitos em momento posterior, pois dependem em grande parte da interação com docentes da Educação Básica e/ou Ensino Superior em atuação em sala de aula.

Caminhos da pesquisa histórica

Ao realizar a pesquisa histórica para utilização no Ensino deve-se considerar os limites do estudo de caso. Para este estudo, consideramos um período imediatamente anterior ao principal experimento de Seebeck (1821) e algum tempo após a publicação do trabalho, com a resposta da comunidade acadêmica. Neste item serão explicitados alguns elementos importantes para a elaboração da narrativa a ser utilizada numa sequência didática com abordagem histórica, problematizadora e contextualizadora. Como metodologia historiográfica serão adotados os pressupostos da moderna historiografia da ciência (KRAGH, 1987; ALFONSO-GOLDFARB; BELTRAN, 2004; MARTINS, L. 2005; MARTINS, 2012; 2014).

Definindo objetivos

O primeiro passo é definir adequadamente qual o objetivo, em sala de aula, com a abordagem histórica. Algumas opções são: 1) ilustrar a aula, 2) exemplificar um conteúdo, 3) discutir um conteúdo, 4) discutir a ciência e suas influências e implicações de um modo geral. Tais objetivos estão diretamente relacionados com o que se espera dos (as) alunos (as) após a aula. As opções 1 e 2 caracterizam mais uma exposição por parte do professor e que não requerem a interação com o aluno. Já as opções 3 e 4 implicam numa interação maior com o aluno, levantando perguntas, respostas e discussões. Em todas as opções, é importante que o material apresentado provenha

de fontes fidedignas ou se perpetua um ciclo de reprodução de mitos. Portanto, as fontes são as mesmas, mas o que vai diferenciar o objetivo é a postura do professor e a forma como ele conduzirá a aula.

Para iniciar uma pesquisa histórica, uma sugestão é fazer perguntas sobre o assunto (MARTINS, 2005). Caso o objetivo da sequência seja o conteúdo, isso direcionará as perguntas a serem feitas para construir a narrativa. As perguntas deverão ter como resposta elementos que permitam explorar a questão do conteúdo. Exemplo: Por que Seebeck estava fazendo medidas de magnetismo e temperatura? Quais procedimentos ele utilizou em sua pesquisa? Que materiais, instrumentos, equipamentos, ele utilizou? O que ele já sabia sobre eletricidade, magnetismo e variação de temperatura?

Outras perguntas podem ajudar a entender o contexto em que ele escreveu o trabalho, já que isso está diretamente relacionado ao que ele já conhecia. Por exemplo: Que funções ele exercia quando realizou o experimento? Com quem trocava correspondência? Era um membro reconhecido social e academicamente? Que outros estudos estavam em destaque no período em que ele realizou e publicou seu trabalho? Qual foi a repercussão do seu trabalho?

As respostas para o primeiro grupo de perguntas podem ser encontradas na leitura do trabalho original de Seebeck e esclarecidas pelo "próprio cientista". O segundo grupo de perguntas implica em conhecer o entorno ao cientista, suas relações pessoais e se seu trabalho teve significado na sociedade da época. Para encontrar essas respostas, devem ser buscados os trabalhos de outros estudiosos do mesmo período (fontes primárias) e de historiadores que já trataram do tema (fontes secundárias). Com esse material, é possível construir o cenário em que Seebeck se encontrava e entender seu trabalho e o contexto.

Em busca das fontes primárias e secundárias

Para construir o cenário é preciso saber quem é o personagem central: Thomas Seebeck (1770-1831). A biografia de um cientista contém dados pessoais e também pode indicar seus principais trabalhos e influências. Há dicionários de biografias científicas publicados ou disponíveis online que podem ser empregados como ponto de partida, mas que devem ser devidamente ponderados (COSTA, 2009). Também há catálogos[16] que detalham toda a produção de alguns estudiosos do século 19 e que estão disponíveis para download. De posse da biografia e da lista de trabalhos, é necessário fazer uma busca para encontrar os trabalhos completos.

Na busca pelas fontes, é necessário lidar com o problema do idioma. Dependendo do tema, as fontes primárias podem estar em um idioma que o pesquisador não domina. Nesse caso, é recomendável trabalhar com o original e mais de uma versão traduzida, para o caso de possíveis erros de tradução; ou então mudar o tema. Trabalhar apenas com traduções pode levar a uma compreensão errada da obra original. Alguns trabalhos podem ser encontrados em *source books*, que são conjuntos de trabalhos parcial ou totalmente traduzidos para o inglês.

No caso de Seebeck, a biografia não se encontra nos dicionários de biografias científicas, mas foi possível encontrar uma biografia num artigo específico (VELMRE, 2007). A biografia não trouxe muita informação relevante, pois tratava-se de uma apologia com um relato anacrônico.

Seu trabalho está parcialmente traduzido para o inglês no *Source Book in Physics* (MAGIE, 1969) e a versão completa está disponível online (SEEBECK, 1825; 1895). A consulta a dois

16 Ver as indicações de Martins (2005) e Martins (2012). Alguns links importantes são: www.jstor.org; www.archive.org e https://gallica.bnf.fr.

catálogos de obras (CATALOGUES, 1871; POGGENDORF, 1863) trouxe a mesma relação de trabalhos publicados por Seebeck – um total de 18 trabalhos, todos em alemão.

A princípio, esse material seria suficiente para responder às primeiras perguntas. No entanto, o relato de Seebeck deixava em aberto vários pontos e citava outros nomes. Nesse caso, é necessário buscar trabalhos de outros estudiosos, como aqueles que foram citados, para esclarecer melhor o assunto. Seebeck cita Schweigger, Weiss, Ørsted, Cumming. Qual a relação entre Seebeck e esses outros nomes? Ele também cita um trabalho anterior seu que o levou a fazer as medidas (SEEBECK, 1822). A leitura desse outro trabalho é importante para tentar entender o que ele pretendia no trabalho seguinte. Volta-se aos dicionários e catálogos para encontrar os elos.

Outra forma de tentar entender o que Seebeck não explica é buscar por trabalhos de outros historiadores que já estudaram esse tema. Nesse caso, recorre-se à base de dados que possuem periódicos sobre História da Ciência. Além da busca inicial no Google Scholar, outras bases importantes são a da History of Science Society (HSS) e a JSTOR[17]. Obras de outros historiadores podem esclarecer vários pontos e, com frequência, são mais acessíveis do que os originais. Mas podem apresentar uma visão tendenciosa e distorcer fatos, causas e consequências. Portanto não são aconselháveis como único material base para a construção da narrativa[18]. Há poucas fontes secundárias sobre Seebeck e várias sobre Hans Christian Ørsted (MARTINS, 1986; CANEVA, 1978; 1997) que citam Seebeck superficialmente, o que já indica que há uma relação entre os dois.

17 Links: https://hssonline.org/resources/hstm-database/ e www.jstor.org.

18 Martins (2005) e Martins (2014) discutem em detalhes a questão do "apudismo" e das correntes historiográficas que fornecem diferentes interpretações.

A parte experimental

Este estudo de caso também envolve uma parte experimental que deve ser tratada com rigores historiográficos. Isto é, é preciso reproduzir o experimento de Seebeck da forma mais próxima possível ao modo como ele fez e buscar compreender seus procedimentos e resultados de maneira diacrônica.

Experimentos históricos envolvem conhecimentos conceituais, procedimentais e epistemológicos do ponto de vista do cientista. Ao se reproduzir um experimento ou instrumento histórico é preciso saber se o cientista poderia conhecer previamente a teoria envolvida no experimento, como ele manipulou seus equipamentos, quais dados considerou relevantes e porquê. Tudo isso imerso num contexto sociocultural que certamente influenciou em suas escolhas teóricas e procedimentais (SHAPIN, 1982).

Além de um conhecimento tácito na manipulação, descrições detalhadas de equipamentos e procedimentos, o trabalho experimental pode envolver ou não um conhecimento teórico prévio ou alguma concepção *a priori*[19] que acaba por direcionar o olhar do cientista para seus resultados (SHAPIN, 1982; STEINLE, 1997; 2002). Portanto, fontes primárias envolvendo experimentos às vezes só se tornam claras quando há a tentativa de reproduzir o experimento, o que pode exigir mais do que uma leitura atenta, já que a própria execução requer habilidades comuns ao experimentador em seu contexto. Como não é possível a reprodução igual ao original, seja pela inexistência de materiais ou pela descrição vaga do experimentador (FORS; PRINCIPE; SIBUM, 2016), a utilização de procedimentos ou equipamentos anacrônicos também pode levar a uma informação distorcida.

Durante o período em que Seebeck realizou seus trabalhos, a experimentação entre os estudiosos alemães era, em sua

19 Sugiro a leitura do capítulo de Roberto Martins neste livro sobre as concepções *a priori* no trabalho de Lavoisier.

maioria, apenas qualitativa. Seebeck era reconhecido como um grande experimentador e a maior parte de seus trabalhos foi experimental. Mas ainda assim, não havia sistematização e acuidade em seu trabalho, o que era característico da época. Devido a essa concepção experimental, o relato do próprio Seebeck não fornece todos os detalhes experimentais necessários para a reprodução dos equipamentos e de seus procedimentos. Como consequência, a tentativa de reconstrução de seus experimentos apresentou vários desafios, desde encontrar os tipos de materiais usados, como também as respectivas medidas e o manuseio.

Thomas Seebeck: biografia e principais trabalhos

Na primeira metade do século 19, alguns estudiosos começaram a estabelecer interpretações comuns aos fenômenos envolvendo eletricidade, magnetismo e condução de calor. Para um dos programas de pesquisa que apontavam nessa direção, o comum nesses fenômenos era a existência de forças na natureza que tendiam a se manter em equilíbrio. Esse programa de pesquisa era bem representado pela *Naturphilosophie* e outra explicações filosóficas influenciadas por filósofos alemães, como Friedrich von Schelling (1775-1854) (CANEVA, 1997).

No caso dos seguidores da *Naturphilosophie* – como por exemplo Hans Christian Ørsted (1777-1851) e Johan Wilhelm Ritter (1776-1810) –, as forças responsáveis pelos fenômenos elétricos deveriam ser relacionadas às forças responsáveis pelos fenômenos magnéticos e de aquecimento (calor), uma vez que todas elas tinham como como origem a mesma força da natureza (CANEVA, 1997; SILVA; SILVA, 2017).

Foi sob influência da *Naturphilosophie* que Ørsted havia concluído sobre sua teoria eletromagnética em 1820, considerando que os efeitos magnéticos sobre a bússola eram causados pelo movimento do fluido elétrico em torno do fio. Os resultados

de Ørsted assumiam um efeito magnético transversal ao fio, o que não foi aceito de imediato[20]. Em busca de verificar os resultados de Ørsted, vários estudiosos do período dedicaram-se em reproduzir e aperfeiçoar seu experimento. É neste cenário que Thomas Johann Seebeck fará suas contribuições: a influência da *Naturphilosophie* e da transformação das forças e a recente divulgação do trabalho de Orsted que apresentava uma relação entre eletricidade e magnetismo com uma simetria diferente da esperada.

Biografia

Thomas Johann Seebeck nasceu em Talin em 1770 e tornou-se médico em 1792 pela Universidade de Göttingen. Durante grande parte da sua vida foi um pesquisador independente, financiado pela herança deixada pelo seu pai, sem ter exercido a medicina (VELMRE, 2007). Entre 1802 e 1831 viveu em diferentes cidades com sua esposa e filhos, como Jena, Bayreuth, Nuremberg e Berlin, onde acabou falecendo em 1831. Durante sua estadia em Jena, tomou conhecimento das ideias da *Naturphilosophie* e estabeleceu contatos com Johann Wolfgang Goethe (1749-1832) e Christian Samuel Weiss (1780-1856), dois representantes da filosofia romântica da natureza. Pouco da sua vida pessoal é conhecido além do que está nas cartas trocadas com Goethe (NIELSEN, 1989), mas Seebeck teve dois filhos que tiveram destaque durante o século 19: Ludwig Friedrich Wilhelm August Seebeck (1805-1849), físico com vários trabalhos em acústica e Karl Julius Moritz Seebeck (1805-1884) pedagogo que contribui na reforma educacional alemã.

20 Os experimentos de Ørsted já foram explorados em vários trabalhos e não entrarei em detalhes aqui. Para mais informações sugiro Martins (1986a; 1986b)

Entre 1806 e 1819 colaborou com Goethe em sua teoria das cores[21], ficando responsável pela execução de experimentos que pudessem corroborar as ideias do poeta e *naturfilósofo*. No entanto, ao tornar-se membro da Academia de Ciências de Berlin em 1819, Seebeck interrompeu seu contato e colaboração com Goethe, já que sua teoria das cores não era bem-vinda entre os demais membros (NIELSEN, 1989). A amizade com Weiss permaneceu e foi de grande utilidade para seus experimentos, já que Weiss era o responsável pelo gabinete de minérios e forneceu o material necessário nos experimentos de Seebeck (SEEBECK, 1895, p.8).

Apesar de ser reconhecido como excelente experimentador e, por este fato ter sido admitido na Academia de Berlin, Seebeck não publicou muitos trabalhos (CATALOGUES, 1871; NIELSEN, 1989). Os dez artigos publicados entre 1806 e 1827 (sua última publicação) trataram de propriedades de minérios, reações químicas, polarização da luz e magnetismo. Em geral destaca-se a parte experimental, com a descrição das observações e fenômenos obtidos, mas não há proposições para explicar causas ou estabelecer padrões e teorias[22], o que era comum para a época (NIELSEN, 1991).

Principais trabalhos

O trabalho em que Seebeck encontra a relação entre magnetismo e calor é o *Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz*, publicado nos Anais da Academia de Berlin de 1825 (*Abhadlungen der physikalischen Klasse der*

21 A teoria das cores de Goethe apresentava uma crítica a Newton. Para maiores informações sugiro Brito e Reis (2016).

22 Mesmo quando Seebeck tenta propor um modelo teórico, suas ideias são confusas e inconclusivas (NIELSEN, 1991; SILVA, 2019).

Königlisch-Preußsischen). Os Anais de 1825 continham os trabalhos apresentados perante a Academia nos anos de 1822 e 1823. Devido a esse intervalo entre a realização e apresentação e a publicação do trabalho, Seebeck acaba trazendo no trabalho publicado resultados obtidos por outros estudiosos posteriormente à sua investigação[23].

Ele inicia o trabalho mencionando o que o levou a realizar experimentos para investigar "que dois metais, conectados em círculo uns com os outros, eram magnéticos sem a participação de nenhum condutor úmido" (SEEBECK, 1895, p.4) foram os resultados que obteve em trabalho anterior. Sendo assim, conhecer esse trabalho anterior seria importante para entender os pressupostos de Seebeck. A seguir tratarei de alguns pontos principais desse trabalho e que possivelmente influenciaram as conclusões de Seebeck quanto ao termomagnetismo.

Correntes galvânicas e magnetismo

O trabalho que Seebeck menciona é o *Über den Magnetismus der galvanischen Kette*, apresentado perante a Academia de Berlin em 1820 e publicado em 1822 nos Anais da Academia. Nesse trabalho Seebeck realiza uma série de experimentos buscando compreender o que influencia na polarização magnética de um metal quando sujeito à eletricidade gerada por uma bateria galvânica. De modo geral, Seebeck está tentando se aprofundar no trabalho de Ørsted, e já parte de algumas considerações prévias quanto ao fenômeno observado, como a existência de polaridades elétrica e magnética, o que era parte das ideias da *Naturphilosophie*. Por exemplo, Seebeck assume que a bateria galvânica produz as polaridades elétricas $+E$ e $-E$, que são contrárias e que se anulam

23 Neste trabalho utilizei a versão de 1825 e também uma republicação de 1895, com anotações do editor, ambas em alemão.

dentro da própria bateria. Portanto, não é apenas a eletricidade que gera a polarização magnética do fio.

> Estes experimentos provam que existe uma polarização magnética peculiar na corrente galvânica fechada, independente de todas as influências externas, e que a mesma é invariável ao se inverter a posição dos polos elétricos da corrente (SEEBECK, 1822, p.293).

Variando as dimensões e materiais dos fios e a solução da bateria galvânica num circuito simples (Fig. 1), Seebeck encontra a distribuição da polarização magnética do circuito. Ele considera que o magnetismo, assim como a eletricidade, é polarizado em dois diferentes "estados", o *+m* e *-m*, que se distribuem circularmente ao redor do fio (Fig. 2).

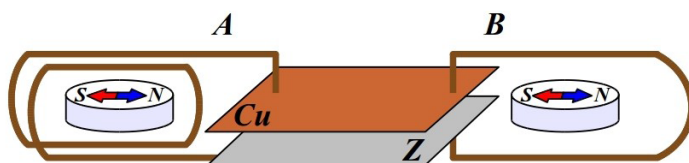
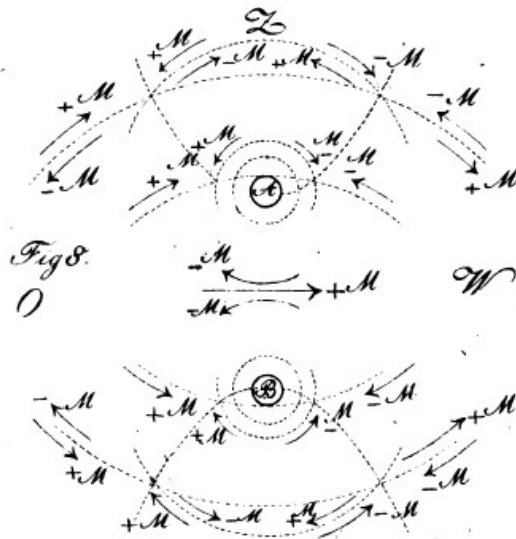
Fig. 1: Representação do circuito de acordo com a descrição e o desenho de Seebeck (1822, p.319). *Z* e Cu representam as placas de zinco e cobre que constituem a bateria voltaica. *A* e *B* são fios de cobre. No interior de *A* e *B* há uma bússola. N é o norte magnético terrestre. Seebeck varia o diâmetro e o comprimento dos fios em A e B testando diferentes possibilidades.

Fonte: Éwerton Jefferson Barbosa Ferreira (colaborador).

Fig. 2: Corte transversal do circuito representado na Fig. 1, onde *A* e *B* representam os fios de cobre. Dispondo a bússola em diferentes posições em relação a *A* e *B*, Seebeck determina a polaridade magnética +m e -m em relação à eletricidade nas espiras. Observa-se que a configuração da polaridade magnética em torno dos fios é circular.

Fonte: Seebeck (1822).

Nas conclusões de Seebeck está claro que "polarização" é um conceito muito presente, que ele se alinha com Ørsted na configuração circular do magnetismo ao redor do fio, mas que não considera que o efeito magnético sobre a bússola é devido à eletricidade.

Ainda baseado no circuito da Fig. 1, Seebeck conclui que a deflexão da agulha magnética da bússola era proporcional ao comprimento dos fios. Em nota de rodapé ele acrescenta:

> No entanto, nem todo aumento na temperatura do condutor que fecha a corrente galvânica causa um aumento do estresse magnético.

> Abaixo das hastes de metal, que eram colocadas brilhando nos suportes presos a uma corrente simples, o desvio da agulha magnética não era grande, mas não menor do que quando as hastes estavam frias. No entanto, o sucesso teria sido diferente se as hastes incandescentes tivessem acabado de tocar as placas de metal, como o ensaio a seguir mostrará com mais clareza (SEEBECK, 1822, p.325 – nota de rodapé).

Portanto, é nesta nota de rodapé que Seebeck apresenta uma possível relação entre magnetismo e calor. Uma vez que ele assumia que as polaridades elétricas eram anuladas no interior da bateria galvânica, atuavam apenas para ativar a polarização magnética existente no material (fio). Essa polarização magnética parecia estar associada a qualquer mudança no estado de coesão do material, já que ao aquecer o fio para soldar ao circuito também havia deflexão da agulha magnética.

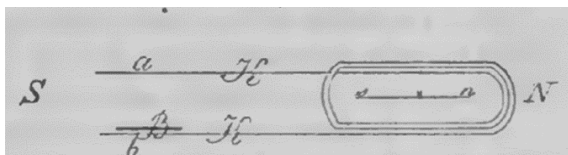
> A mudança ou dissimilaridade no estado de coesão deve, portanto, ser considerada como a condição mais essencial para a magnetização desses corpos (SEEBECK, 1822, p.334).

Os experimentos que levaram ao termomagnetismo

Baseado nos resultados anteriores, Seebeck propõe verificar se é possível produzir polarização magnética num metal sem usar a bateria galvânica. Uma vez que ele concluiu que a magnetização já está presente no material, submetendo esse material a outras situações que alteram seu estado de coesão, haveria uma polarização magnética, ou seja, apenas uma reorganização no sentido e direção da magnetização. Observemos como as experiências de Seebeck já estão sendo guiadas por conjecturas que preveem um possível resultado.

Seguindo com os experimentos, ele monta um circuito sem a bateria galvânica. Neste circuito ele menciona um "multiplicador de Schweigger" feito com 12 m de uma fita de cobre de 0,5 cm de largura, 1 disco de cobre e 1 disco de bismuto. As dimensões dos discos não são informadas, tampouco a espessura da fita de cobre, o número de voltas ou a largura da espira.

Nesta montagem (Fig. 3), Seebeck pressiona com sua mão a fita de cobre contra o bismuto, que está sobre o disco de cobre, e observa uma deflexão da bússola (SEEBECK, 1895, p.5; FERREIRA; SILVA, 2016). Chamaremos este experimento de *Experimento 1*.

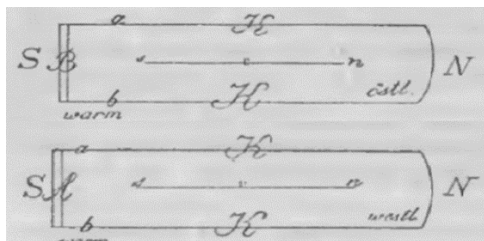
Fig. 3: *Experimento 1* de Seebeck para investigar a relação entre calor e magnetismo. A espira (multiplicador de Schweigger) é de cobre (K). Ao final da espira ficam em contato um disco de cobre, bismuto (B) e a extremidade superior da espira. No interior da espira está uma bússola.

Fonte: Seebeck (1825).

Como a deflexão poderia estar associada a uma reação química entre os metais, usando a umidade da mão como condutora, Seebeck utiliza diferentes materiais para pressionar o conjunto cobre-bismuto-cobre. Ele usa madeira, outro metal e um papel umedecido. Em nenhum desses casos a deflexão ocorre. Usando novamente a mão, Seebeck verifica se a deflexão pode ocorrer com outros metais diferentes do bismuto. Ele substituiu o disco de bismuto por um de antimônio e obteve um desvio a leste. Outros metais como níquel, cobalto e urânio se comportaram como o

bismuto; ferro, arsênio e telúrio, como o antimônio. Mas com um disco de zinco ou de prata, por exemplo, não houve deflexão.

A ausência de deflexão com o zinco eliminava a possibilidade de uma reação galvânica. A ausência de deflexão quando a mão é substituída por outros materiais eliminava a possibilidade de um fenômeno apenas mecânico. Como a tensão magnética deveria vir de uma mudança no "estado de coesão do metal", conforme resultados do trabalho anterior, Seebeck concluiu que era o calor transferido pela mão que causava o magnetismo (SEEBECK, 1895, p.9).

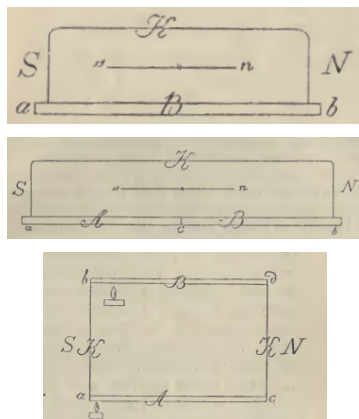
Esta conclusão leva Seebeck a realizar outros experimentos para confirmar que era o calor que provocava a polarização magnética do metal. Para isso ele faz montagens semelhantes a circuitos usando junções de dois metais diferentes, começando com bismuto-cobre e antimônio-cobre (Fig. 4). Nas extremidades das junções a temperatura era modificada utilizando-se uma fonte de calor. A agulha magnética da bússola localizada no meio do circuito identificava a variação magnética, sendo que a deflexão tinha sentido contrário para o bismuto e para o antimônio.

Fig. 4: Experimentos com uma espira de cobre e uma barra de bismuto (acima) ou antimônio (abaixo). Na extremidade inferior (b warm) as barras são aquecidas com uma vela.

Fonte: Seebeck (1825).

Ele verificou que não era o calor que provocava a deflexão da agulha, mas uma diferença de temperatura entre os pontos de contato das combinações metálicas. Quando as duas extremidades estavam a mesma temperatura, seja por aquecimento ou por resfriamento; ou quando a barra era aquecida no meio, havia a modificação na "coesão do metal", mas o magnetismo permanecia latente. Apenas com a diferença de temperatura entre as extremidades é que se produzia tensão magnética. Seebeck conclui:

> De todos esses experimentos podemos concluir que a primeira e mais importante condição para o aparecimento do magnetismo livre nesse circuito metálico é a diferença de temperatura nos pontos de contato dos dois elementos. Sem dúvidas o magnetismo também será provocado se ambos os pontos de contato dos metais ou minérios são aquecidos ao mesmo tempo e a um mesmo grau; não haverá nenhuma ação na agulha magnética, no entanto, neste caso, porque através deste procedimento uma dupla e oposta polarização magnética será provocada no circuito, e é em toda parte de igual força (SEEBECK, 1895, p.11).

Seebeck então fez circuitos termomagnéticos utilizando barras de diferentes comprimentos para verificar como se dava a variação da intensidade da deflexão de acordo com o comprimento (Fig. 5). Para isso, ele conectou barras de cobre e de bismuto e antimônio, variou a temperaturas nas extremidades onde havia contato entre os metais e verificou a deflexão da bússola (SEEBECK, 1895, p.15; FERREIRA; SILVA, 2016). Com os resultados, ele fez uma tabela reordenando as combinações de metais como "mais a Oeste" ou "mais a Leste", de forma totalmente fenomenológica (SEEBECK, 1895; SILVA, 2019).

Fig. 5: Circuitos termomagnéticos. De cima para baixo: bismuto-cobre; antimônio-bismuto (em série)-cobre; antimônio-bismuto (em paralelo)-cobre.

Fonte: Seebeck (1825).

De forma totalmente qualitativa e fenomenológica, Seebeck conclui que: (i) deve haver uma diferença de temperatura entre os pontos de contato para que haja tensão magnética; (ii) a intensidade da tensão magnética no circuito termomagnético é proporcional à diferença de temperatura; (iii) a configuração do magnetismo em circuitos termomagnéticos é a mesma que em circuitos elétricos e; (iv) a intensidade da tensão magnética é inversamente proporcional ao comprimento dos condutores (SEEBECK, 1825; 1895). Com exceção de alguns resultados iniciais (primeiro experimento), Seebeck não fornece os valores de deflexão da bússola (ângulo), nem valores para as temperaturas. Ele também menciona que o aquecimento e resfriamento dos metais poderia alterar sua estrutura interna e causar modificações na magnetização, mas não esclarece de que forma isso ocorreria (SEEBECK, 1895, p.78).

Ao final do trabalho, Seebeck apresenta considerações sobre como o presente estudo poderia servir para explicar o magnetismo terrestre, uma vez que se supunha que o interior da Terra possuía muitos metais sujeitos a diferentes temperaturas devido à posição em relação ao Sol (SEEBECK, 1895, p.112).

Há várias considerações a serem feitas sobre os experimentos, procedimentos e resultados de Seebeck que deveriam ter provocado uma reação na comunidade científica da época questionando-o (SILVA, 2019). No entanto, quando este trabalho foi publicado, apenas serviu como uma complementação ao que Ørsted já havia divulgado em 1823 (ØRSTED, 1823) e não há trabalhos que o questionem; também não há nenhum novo trabalho de Seebeck complementando ou esclarecendo suas ideias.

Por volta de março de 1823 Ørsted havia visitado Seebeck, para saber o que estava sendo feito a partir dos resultados de sua teoria eletromagnética. Ele considerou que os circuitos termomagnéticos de Seebeck eram, na verdade, *termoelétricos*, em que o calor assumia o mesmo papel do líquido no circuito galvânico.

> Como escrevi alguns dias atrás, fiz uma interessante descoberta, a saber, de um aparato galvânico que consiste somente de materiais sólidos sem a mediação de qualquer líquido. (...) Com a ajuda das minhas descobertas eletromagnéticas, Seebeck em Berlim chegou a mais bonita das descobertas que surgiu da minha, especificamente que se alguém monta um anel de dois pedaços curvos feitos de diferentes metais e aquece uma das junções, o anel inteiro tem o mesmo efeito sobre a agulha da bússola como um circuito galvânico. Os dois metais que fornecem melhor efeito neste experimento são o bismuto e o antimônio. Um pedaço destes dois metais soldados juntos tem o mesmo efeito que zinco e cobre num circuito

> galvânico. E eu ouso dizer que, desta forma, o calor tem o efeito do líquido (carta de Ørsted a sua esposa – JELVED; JACKSON, 2011, p.340).

Ørsted não menciona nada sobre o *Experimento 1*. Ele apenas utilizou os resultados dos circuitos termomagnéticos para corroborar sua própria teoria eletromagnética (CANEVA, 2007; SILVA, 2019).

Apesar dos resultados dos circuitos termomagnéticos terem mais destaque após a publicação de Ørsted[24], considero que o *Experimento 1* é fundamental para entender os pressupostos de Seebeck. Afinal, segundo seu relato, se este experimento não indicasse uma relação entre o calor da mão e a deflexão da agulha magnética, ele não teria dado andamento aos demais experimentos que serviram para confirmar sua hipótese inicial. Por este motivo, darei detalhes da sua reprodução.

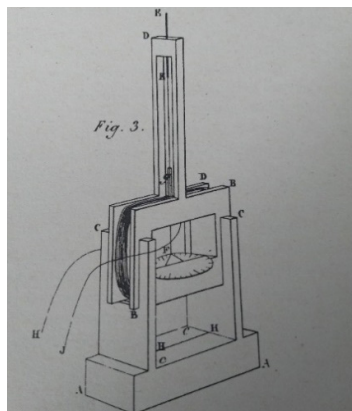
A reprodução do Experimento 1

Ao tentar reproduzir o Experimento, a primeira dificuldade se deu quanto ao "multiplicador". A imagem que Seebeck apresenta difere consideravelmente do multiplicador que Schweigger propôs em 1821 (Fig. 6) e também do instrumento divulgado por Ørsted (Fig. 7).

24 Ver, por exemplo, as considerações de Ørsted para a criação de uma pilha termoelétrica (SILVA, 2019).

Fig. 6: Uma das propostas de multiplicador de Schweigger. Vários fios de cobre enrolados de maneira sobreposta. Schweigger não menciona a necessidade de isolamento entre um fio e outro, nem a quantidade de espiras necessárias.

Fonte: Schweigger (1821).

Fig. 7: Representação de Ørsted para o multiplicador de Schweigger, sem alterar seus "aspectos essenciais", segundo o autor. Várias voltas do fio de cobre em torno do suporte B. No meio dos fios há um orifício pelo qual a agulha magnética fica suspensa entre as espiras.

Fonte: Ørsted (1823a, p.437).

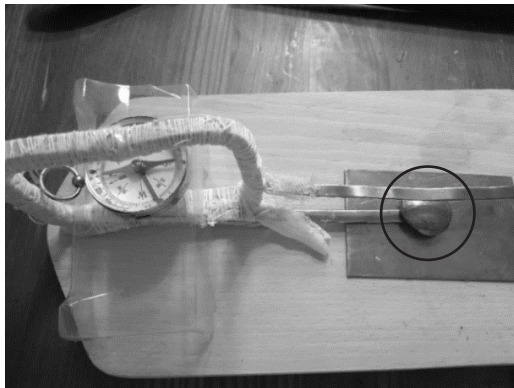
Os dois multiplicadores utilizam fios de cobre. Em nenhum deles é mencionada a quantidade de voltas, o comprimento e

diâmetro do fio ou algum isolamento entre as voltas. No instrumento divulgado por Ørsted a bússola está suspensa. Como a figura de Seebeck não se assemelhava aos outros multiplicadores conhecidos (CHIPMAN, 1966), busquei em seu trabalho outro experimento em que ele o tivesse utilizado.

Encontrei menção ao multiplicador de Schweigger com as mesmas dimensões em uma das variações do experimento da Fig. 1 (SEEBECK, 1822, p.319). Em nota de rodapé, Seebeck acrescenta que as voltas da fita de cobre foram isoladas usando seda. Há também menção à bússola usada nos experimentos, a qual seria "de bolso"[25] e com uma agulha magnética de 6 cm, o que me levou a concluir que cada volta, aproximadamente retangular pelo desenho da Fig. 3, tinha, aproximadamente, 8 cm de lado por 4 cm de altura (considerando 2 cm de altura da bússola e as proporções do desenho). Considerando a fita de 12 m, isso daria cerca de 50 voltas! Porém, não foi possível encontrar 12 m de fita de cobre contínua e qualquer emenda aumentaria a resistência do circuito. Ele não menciona a espessura, o que seria fundamental para determinar a flexibilidade da fita para fazer as voltas necessárias e também para ter uma estimativa do tamanho do multiplicador. Por exemplo, se a fita possuísse uma espessura de 0,5 mm, cada lado do multiplicador teria 2,5 cm de largura.

Com uma fita de 1 mm de espessura, 1 m de comprimento e 5 mm de largura, foi possível fazer 3 voltas, usando uma agulha magnética de 3 cm. As voltas foram encapadas com seda 100%, e o conjunto de espiras foi enrolado com linha de linho para que ficassem superpostas. A montagem que fiz (Fig. 6) baseada apenas nas informações obtidas nos textos se assemelha muito à figura que Seebeck fez (Fig. 3).

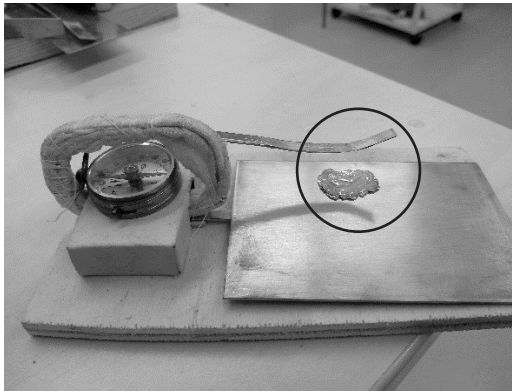
25 Se a bússola é "de bolso", não se enquadra no modelo de Ørsted de agulha suspensa.

Fig. 6: Montagem aproximada do Experimento 1. O suporte de plástico para a bússola apenas serviu como apoio, já que não foi possível entender exatamente, pelo relato de Seebeck, como a bússola se equilibrava sobre o multiplicador.

Fonte: a autora.

Assim, considerando apenas as informações descritas por Seebeck, pressionando a fita de cobre sobre o disco de bismuto com a minha mão, seria possível observar uma deflexão na agulha magnética. Isto não aconteceu. Algumas variáveis que não estavam bem detalhadas por Seebeck poderiam estar afetando os resultados, como: a temperatura do meu corpo em relação à temperatura ambiente (de quantos graus deveria ser a diferença?); a espessura da fita; a espessura do disco de bismuto; a área de contato entre a fita e o disco e o número de voltas da fita (o efeito seria muito pequeno para ser identificado?).

Estas variáveis foram consideradas nas próximas tentativas. Assim, o que fiz foi: reduzir a espessura da fita (desbastando-a com uma lixa) na região de contato com o disco de bismuto; reduzir a espessura do disco de bismuto e aumentar a região de contato deixando-o bem plano e reduzir o tamanho das espiras. Cada uma dessas mudanças foi feita separadamente para identificar o quanto

afetava os resultados, ou melhor, levava a uma deflexão de agulha. A configuração final da montagem, após todas essas mudanças corresponde à Fig. 7.

Fig. 7: Segunda montagem experimental, baseada nos relatos de Seebeck e nas variáveis identificadas. Observe que a espessura da fita no contato com o bismuto é mais fina e que também o disco de bismuto é mais fino. Usando o mesmo comprimento da fita de cobre para fazer o multiplicador, mas considerando dimensões menores, foi possível incluir duas voltas a mais, mas a agulha magnética é menor.

Fonte: a autora.

O destaque nas duas figuras (Fig. 6 e Fig. 7) mostra a diferença na espessura da fita no ponto de contato. O bismuto é extremamente maleável e sob aquecimento de uma vela já começa a derreter. O novo disco usado possuía menos de 1 mm de espessura. Para fazer o multiplicador ainda considerei apenas 1 m de fita de cobre, mas com o novo tamanho foi possível fazer mais duas voltas, totalizando 5 voltas. Nesta nova configuração ainda não foi possível identificar a deflexão da agulha apenas usando a mão. Portanto, a variável relativa à diferença de temperatura necessária era fundamental.

Se a fita era aquecida com a chama de uma vela na região de contato com o bismuto, a deflexão ocorria, mas diminuía de intensidade numa segunda tentativa. Uma possível explicação para isso era a presença de fuligem na região de contato. Por este motivo, os contatos cobre-bismuto-cobre eram lixados após cada tentativa, o que ficava inviável quando a fita era aquecida com a vela.

A ausência de deflexão com a mão à temperatura ambiente e a deflexão com o aquecimento pela vela levou a um meio termo de diferença de temperatura que poderia ocasionar a deflexão. Como todo o conjunto experimental estava a temperatura ambiente e a temperatura ambiente estava próxima à temperatura corporal, utilizei um copo de água quente para aquecer minha mão antes de pressionar a fita.

Com a mão aquecida em torno do copo de água fervente, pressionei a fita sobre o fino disco de bismuto e *a agulha defletiu*! A agulha permanecia defletida até que o dedo e a fita ficassem em equilíbrio térmico, o que era relativamente rápido já que a diferença de temperatura não era alta e a fita estava bem fina, com rápida condução de calor.

Porém, diferente da descrição feita por Seebeck, a deflexão só ocorreu porque foram tomadas uma série de providências visando esse objetivo, como: uma fina fita de cobre, fino disco de cobre, ampla região de contato, limpeza do contato para evitar a oxidação e, talvez o mais importante, uma diferença de temperatura considerável entre o ambiente e a mão. Ou seja, eu estava esperando que o calor provocasse uma deflexão. O que nos leva a questionamentos como: teria Seebeck se atentado para as condições necessárias para que houvesse algum efeito? Se não houvesse deflexão da agulha na primeira tentativa, ele atribuiria o resultado a um erro na sua hipóteseou a problemas no experimento?

Estas questões não podem ser respondidas, pois fazem parte da complexidade de se trabalhar com experimentos históricos.

Conforme mencionei no início do texto, a descrição de experimentos, principalmente aqueles que não estão muito sistematizados como é o caso de Seebeck, não é suficiente para compreender as intenções do experimentador.

Elementos para uma sequência didática

Para elaborar uma sequência didática com a abordagem histórica, vale a pena perguntar: em que o presente episódio pode colaborar para o ensino de ciências? Do meu ponto de vista, os objetivos 1) e 2) do item 2.1 não contribuem efetivamente para promover a discussão de temas científicos ou metacientíficos. Podem contribuir para o interesse dos alunos, mas não permitem ampliar qualquer discussão, já que acabam por apresentar uma ciência que "deu certo", tornando o ensino a mera reprodução de fatos (ROBILOTTA, 1988). Assim sendo, o presente episódio histórico poderia contribuir para ampliar discussões sobre o conceito – a relação entre calor, magnetismo e eletricidade; sobre as influências sobre o trabalho científico e como a divulgação de resultados pode ser tendenciosa para atender a interesses pessoais – como Ørsted fez para validar sua própria teoria.

No caso de discutir o efeito Seebeck do ponto de vista do conteúdo, é possível enfatizar as propriedades da matéria, a diferença entre um fenômeno elétrico e magnético eas relações existentes entre eles e o conceito de calor (como "energia em trânsito"). Considero como necessário, na sequência didática, que haja um conhecimento prévio sobre os experimentos e pressupostos de Ørsted (preferencialmente do ponto de vista histórico, para salientar a influência da concepção filosófica da *Naturphilosophie*); uma introdução a fenômenos do cotidiano em que fenômenos relacionando eletricidade, calor e magnetismo estejam presentes (por exemplo, um termopar ou termômetro digital); a introdução de problemas experimentais ou teóricos de solução aberta, como,

por exemplo, a reprodução didática do *Experimento 1* de Seebeck e a introdução de uma narrativa histórica que enfatize os aspectos controversos e ambíguos dos procedimentos e resultados experimentais de Seebeck.

É óbvio que qualquer sequência didática deve ser flexível tanto na metodologia de ensino quanto aos requisitos dos alunos, adequando-se a diferentes públicos e situações didáticas. Portanto, tanto a narrativa histórica quanto as atividades a serem propostas só podem ser planejadas e avaliadas na medida em que forem implementadas, numa discussão conjunta entre professores – que implementam – e pesquisadores – que propõem.

É nesse ambiente de interação entre professores, pesquisadores e alunos que o Grupo de História da Ciência e Ensino da Universidade Estadual da Paraíba (GHCEN) vem contribuindo para a inserção da abordagem histórica e experimental em sala de aula da Educação Básica e do Ensino superior. O Grupo concentra seus esforços na formação inicial de professores, buscando capacitá-los para a utilização da abordagem histórica para contextualizar, de forma problematizadora, o ensino de ciências em diferentes níveis de escolaridade (PINTO; SILVA; FERREIRA, 2017; PINTO; SILVA; PINTO, 2018).

Considerações finais

A reprodução do *Experimento 1* de Seebeck mostrou que uma fonte primária sobre atividades experimentais pode conter várias omissões fundamentais para a compreensão dos pressupostos e resultados do cientista. Tais omissões só se tornam explícitas à medida que a reprodução é realizada, incluindo não somente especificidades quanto aos materiais e objetos utilizados, como também aos procedimentos e habilidades técnicas do contexto histórico que são essenciais no manuseio de equipamentos e sua interpretação. Além disso, o estudo das fontes primárias associadas

ao termomagnetismo trouxe à tona aspectos metacientíficos que permitem explorar controvérsias e influências na ciência.

Quanto à utilização do presente estudo de caso histórico no ensino de ciências, sua adaptação depende de múltiplas variáveis, satisfeitas a partir de uma ampla interação entre professores e pesquisadores, na busca por um ensino contextualizado e problematizador, como sugerem as pesquisas e os documentos educacionais.

Uma questão que vale a pena salientar na presente discussão é que o assunto "efeito Seebeck" aparece apenas no Ensino Superior. Do ponto de vista conceitual, a compreensão do fenômeno implica em uma discussão sobre semicondutores e movimento de portadores positivos e negativos no interior do metal. Porém, como vimos na discussão de Seebeck, a compreensão do fenômeno não está diretamente relacionada à compreensão de sua natureza. Quando Seebeck associou os efeitos magnéticos à diferença de temperatura, ele ainda assumia magnetismo (com duas polaridades) e o calor (calórico) como *fluidos*. Portanto, pergunto-me - e acredito que seja interessante questionar os alunos também - por que assumimos como certo (efeito Seebeck) algo que foi construído sobre conceitos que consideramos, atualmente, ultrapassados?

Somente a história da ciência pode proporcionar tais questionamentos, embora nem sempre seja seu papel respondê-los.

Referências

ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; BELTRAN, Maria Helena Roxo. **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

BRITO, Nathaly Barboza; REIS, José Claudio de Oliveira. A teoria das cores de Goethe e sua crítica a Newton. **Revista Brasileira de História da ciência**, v.9, n.2, p.288-298, 2016.

CACHAPUZ, Antônio; GIL-PEREZ, Daniel; CARVALHO, Anna Maria Pessoa; PRAIA, João; VILCHES, Amparo (orgs.). **A necessária renovação do ensino das ciências**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

CANEVA, Kenneth L. From galvanism to electrodynamics: the transformation of German Physics and its social context. **Historical Studies in the Physical Sciences**, v.9, p.63-159, 1978.

CANEVA, Kenneth L. Oersted's presentation of others' - and his own – work. In: BRAIN, Robert M.; COHEN, Robert S.; KNUDSEN, Ole (eds.). *Hans Christian Ørsted and the Romantic Legacy in Science: Ideas, Disciplines, Practices*, New York: Springer, 2007, p.273-338.

CANEVA, Kenneth L. Physics and Naturphilosophie: a reconnaissance. **History of science**, v.35, n.1, p.35-106, 1997.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa (org.) **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em salas de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013, p.1-20.

CATALOGUE OF SCIENTIFIC PAPERS (1800-1863). Compiled and published by the Royal Society of London. v. V. London, 1871, p.620.

CHIPMAN, Robert A. The earliest electromagnetic instruments. **Bulletin Smithsonian Institution**, United States National Museum. Smithsonian Press, n.240, p.123-136, 1966.

COSTA, Felipe A. P. L. Dicionário de biografias científicas. **Cadernos de Saúde Pública**, v.25, n.3, p.704-705, 2009.

CUNNIGHAM, Andrew; JARDINE, Nicholas. (Ed.). **Romanticism and the sciences**. Cambridge: Cambridge University, 1990.

FERREIRA, Ewerton J. Barbosa; SILVA, Ana Paula Bispo. Termomagnetismo ou termoeletricidade? Um estudo do trabalho de Thomas Johan Seebeck. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.33, p.861-878, 2016.

FORS, Hjalmar; PRINCIPE, Lawrence M.; SIBUM, H. Otto. From the library to the laboratory and back again: experiment as a tool for historians of science. **AMBIX**, v.63, n.2, p.85-97, 2016.

HEERING, Peter; HÖTTECKE, Dietmar. Historical-investigative approaches in science teaching. In: **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Springer, Dordrecht, 2014, p.1473-1502.

HÖTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibelle Celestino. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles**. Science &Education**, v.20, n.3-4, p.293-316, 2011.

JARDIM, Wagner Tadeu; GUERRA, Andreia. República das Letras, Academias e Sociedades Científicas no século XVIII: a

garrafa de Leiden e a ciência no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.34, n.3, p.774-797, 2017.

JELVED, Karen; JACKSON, Andrew D. *The travellettersof HC Ørsted*. Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, 2011.

KRAGH, Helge. **An introduction to the historiography of science**. Cambridge: Cambridge U.P., 1987.

MAGIE, William F. **A source book in physics**. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press (10th reprint.), 1969.

MARTINS, Lilian A. Pereira História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v.11, n.2, p.305-317, 2005.

MARTINS, Roberto de Andrade. Oersted e a descoberta do eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v.10, p.89-114, 1986.

MARTINS, Roberto de Andrade. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v.10, p.115-122, 1986a.

MARTINS, Roberto de Andrade. DragomirHurmuzescu e o estabelecimento da magnetoquímica no final do século XIX. In: Silva, C. C.; Salvatico, L. (eds.) **Filosofia e História da Ciência no Cone Sul. Seleção de trabalhos do 7º. Encontro da AFHIC**. Porto Alegre: Entrementes Editorial, 2012, p.492-501.

MARTINS, Roberto de Andrade. O rinoceronte de Dürer e suas lições para a historiografia da ciência. **Filosofia e História da Biologia**, v.9, n.2, p.199-238, 2014.

NIELSEN, Keld. Another kind of light: the work of TJ Seebeck and his collaboration with Goethe. Part I. **Historical studies in the physical and biological sciences**, v.20, n.1, p.107-178, 1989.

NIELSEN, Keld. Another kind of light: the work of TJ Seebeck and his collaboration with Goethe, Part 2. **Historical studies in the physical and biological sciences,** v.21, n.2, p.317-397, 1991.

ØRSTED, Hans C. New experiments by Dr. Seebeck on electromagnetic effects. **Annales de chimie et de physique**. v.22, p.199-201, 1823.

ØRSTED, Hans C. On M. Schweigger's electromagnetic multiplier, with an account of some experiments made with it. **AnnalsofPhilosophy**, v.5, p.436-439, 1823a.

PINTO, Ingrid K. L. Santos; SILVA, Ana Paula Bispo; PINTO, José Antônio F. Entre o planejamento e a execução: desafiso de uma abordagem histórica para ensinar eletrostática. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n.4, p.192-211, 2018.

PINTO, José Antônio F.; SILVA, Ana Paula Bispo; FERREIRA, Ewerton J. Barbosa. Laboratório desafiador e história da ciência: um relato de experiência com o experimento de Oersted. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.** , v.34, p.176-196, 2017.

POGGENDORFF, Johann. C. **Biographisch-literarisches Handwörterbuch zu Geschichte der Exacten Wissenchaften**. Leipzig: Verlag von Johann Ambrosius Barth, 1863. p.890.

PURRINGTON, Robert D. **Physics in the nineteenth century**. London: Rutgers University Press, 1997.

ROBILOTTA, Manoel Roberto. O cinza, o branco e o preto–da relevância da história da ciência no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 5, p. 7-22, 1988.

SCHWEIGGER, Johann S. C. Zusätzezu Oersteds elektromagnetischen Versuchen. **Journal fürChemie und Physik**, Band I, Heft 4, p.1-17, 1821

SEEBECK, Thomas J. **Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz (1822-1823)**. Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften. No. 70. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1895.

SEEBECK, Thomas J. Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. **Abhadlungen der physikalischen Klasse der Königlisch-Preußsischen.** Akademie der Wissenschaftten aus den Jahren 1822-1823. Berlin: 1825, p.265 -373.

SEEBECK, Thomas. J. Über den Magnetismus der galvanischen Kette. **Abhadlungen der physikalischen Klasse der Königlisch-Preußsischen.** Akademie der Wissenschaftten aus den Jahren 1820-1821. Berlin: 1822, p.289-346.

SHAPIN, Steven. History of science and its sociological reconstructions. **History of Science**, v.20, n.3, p.157-211, 1982.

SILVA, Ana Paula Bispo. Distorções científicas perenes e suas consequências para o ensino de ciências: a relação entre eletricidade, magnetismo e calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.41, n.4, e20180311, 2019.

SILVA, Ana Paula Bispo; GUERRA, Andreia (orgs.). **História da ciência e ensino: fontes primárias e propostas para a sala de aula**. Coleção Contextos da Ciência. São Paulo: Livraria da Física, 2015.

SILVA, Ana Paula Bispo; SILVA, Jamily Alves. A influência da Naturphilosophie nas ciências do século XIX: eletromagnetismo e energia. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v.24, n.3, p.687-705, 2017.

STEINLE, Friedrich. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. **Philosophy of Science**, v.64, p. S65-S74, 1997.

STEINLE, Friedrich. Experiments in history and philosophy of science. **Perspectives on science**, v.10, n.4, p.408-432, 2002.

VELMRE, Enn. Thomas Johann Seebeck (1770-1831). **Estonian Journal of Engineering**, v.13, n.4, p.276-282, 2007.

"NEWTON IS RIGHT, NEWTON IS WRONG. NO, NEWTON IS RIGHT AFTER ALL."

Pierre J. Boulos
University of Windsor
pierre.boulos@uwindsor.ca

Introduction

In this paper I would like to consider Leonard Euler's "oeuvres" in astronomy. Although he is particularly and usually noted for his work in mathematics, pure and applied, our focus will be on his success in astronomy and most notably in celestial mechanics. The approach I wish to take in this historical sketch will be to progress chronologically instead of imposing a particular structure on Euler's development. That is, I see a handful of "plots" which unfold over his lifetime. These plots interweave and to delineate them would render this sketch longer and more repetitive than need be. I will add, in this sketch, glimpses of the other "actors" who share the various stages on which Euler's script is drawn out. These actors, you will note, are not mere bit players but, rather, full participants in the history of astronomy and are each worthy of a similar sketch. This said, let us proceed to unravel the script.

The solar system, as it was known at the beginning of the eighteenth century, contained 17 recognized members: the sun, six planets, ten satellites (one belonging to the earth, four to Jupiter, and 5 to Saturn). Comets were known to have visited on occasion into the region occupied by the solar system and there

were reasons to believe that one of them (Halley's Comet) was a regular visitor. But by and large, although there was a great interest in the comets, their action (if any) on the members of the solar system was ignored, a neglect which subsequent investigations has justified (FORBES, 1909). The number of fixed stars was known to be in the thousands[26] and their places on the celestial sphere determined (FORBES, 1909). They were known to be at very great though unknown distances from the solar system, and their influence on it was regarded as insensible.

The motions of the 17 members of the solar system were tolerably well known. Until nutation and aberration were properly understood, their actual distances from one another had been roughly estimated, while the proportions between most of the distances were known with considerable accuracy. Apart from the entirely anomalous ring of Saturn, most of the bodies of the system were known from observation to be nearly spherical in form. Newton, as we know, had shown that these bodies attract one another according to the law of universal gravitation. The astronomers of the eighteenth century inherited from Newton the following problem:

> *Given these 17 bodies, and their positions and motions at any time, to deduce from their mutual gravitation by a process of mathematical calculation their positions and motions at any other time*[27].

26 For instance, we know that Hevelius, catalogued 1500 stars, this after his observatory and records were burnt to the ground in 1679 and he being an old man. Flamsteed, as Astronomer Royal, left a catalogue of some 2900 stars.

27 This formulation of the project is certainly Laplacian in spirit. That astronomers of the day saw their task in this way is subject to debate. I want to argue that work done in the 1740s through to the 1760s, chiefly by Euler, is consistent with the formulation of this problem.

In the case of the solar system the problem is simplified not only by the consideration that one of the bodies can always be regarded as exercising only a small influence on the relative motion of the others, but also by the fact that the eccentricities and inclinations of the orbits of the planets and satellites are small quantities. In the case of the system of the sun, earth, and moon the characteristic feature is the great distance of the sun, which (in this case) is the disturbing body, from the other two bodies. In the case of the sun and two planets, the enormous mass of the sun as compared with the disturbing planet is the important factor. Both problems fall under the problem of three bodies but the cases differ. Consequently, two distinct branches of the subject evolved: **lunar theory** and **planetary theory.**

In the *Principia* the problem of two attracting bodies with an inverse square law of force is adequately solved (Propositions I-XVII and LVII-LXIV of Book I). There, Newton argued that an inverse square law is implied from circular, elliptical, parabolic, or hyperbolic orbits – the conic sections. Furthermore, all three of Kepler's laws are in full accord with Newton's theory – in fact they are derivable from the theory[28]. In Propositions LXV and LXVI Newton looks at the problem of three bodies but was not satisfied with his solution (and as we have already noted this is the problem over which Euler et al., puzzled).

It is important to note that Newton had solved the theoretical problem of the motion of two point masses under an inverse square law of attraction. For more than two point masses only approximations to the motion of the bodies could be found and this line of research led to a large effort by mathematicians to develop methods to attack this three body problem (WILSON, 1995). However, the problem of the actual motion of the planets

28 See Forster's (1988) critique of Duhem's problem. Forster also exploits this position to argue against the "anti-realist polemics of Cartwright." (FORSTER, 1988, p.86).

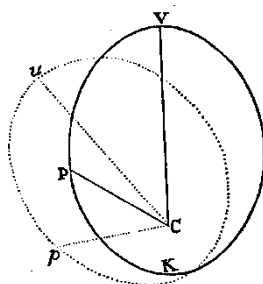
and moons in the solar system was highly complicated by other considerations.

Even if the earth-moon system was considered as a two body problem, theoretically solved in the *Principia*, the orbits would not be simple ellipses. Neither the Earth nor the moon is a perfect sphere and so they do not behave like point masses. This was to lead to the development of mechanics of rigid bodies.

Newton and the Motion of the Lunar Apse: The Setting of the Problem

In Section IX, Book I of the *Principia*, entitled "The Motion of Bodies in Movable Orbits; and the Motion of Apsides," Newton eventually demonstrated that if the force exerted by a central body acted in a proportion other than inverse-square, the orbit would in effect rotate[29]. In the case of the ellipse this amounted to claiming that the apsides would move (see Newton's drawing below).

29 "The orbit would in effect rotate" simply means that the line of apsides, which corresponds to the major axis of an elliptical orbit, would rotate. The size and shape of an orbit are specified by (1) the semimajor axis (the mean distance of the smaller body from the larger body) and (2) the eccentricity (the distance of the larger body from the center of the orbit divided by the length of the orbit's semimajor axis). The position of the orbit in space is determined by three factors: (3) the inclination, or tilt, of the orbital plane to the reference plane (the ecliptic for sun-orbiting bodies; a planet's equator for natural and artificial satellites); (4) the longitude of the ascending node (measured from the vernal equinox to the point where the smaller body cuts the reference plane moving south to north); and (5) the argument of pericenter (measured from the ascending node in the direction of motion to the point at which the two bodies are closest). In the case of the Earth-Moon system this is the *perigee.* These five quantities, plus the time of pericenter passage, are called orbital elements. The gravitational attractions of bodies other than the larger body cause perturbations in the smaller body's motions that can make the orbit shift, or precess, in space or cause the smaller body to wobble slightly.

Figure 1 - Newton's diagram for the movement of the apsides in an elliptical orbit from Section IX, Book I (NEWTON, 1934).

In Proposition XLV Newton limits himself "to find the motion of the apsides in orbits approaching very near to circles" (NEWTON, 1934, p.141). That is, Newton is here limiting himself to an investigation of the motion of apsides in orbits of very small eccentricities. To this end the reader is offered three examples to show how the apsides' motion could be calculated when the centripetal force is assumed to be one of the following:

1. to be constant, or as $\frac{A^3}{A^3}$

2. to be as any power of the altitude, e.g., A^{n-3} or $\frac{A^n}{A^3}$; and

3. to be as the (multiple) sum of any m, n powers of the altitude, or as $\frac{(bA^m + cA^n)}{A^3}$, where b, c are constants.

What is of importance for our purposes here are the two corollaries Newton developed based on Examples 2 and 3. These corollaries relate centripetal force to the motion of the apsides which they produce. Here is what Newton had to say:

> Cor. I. Hence if the centripetal force be as any power of the altitude, that power may be found from the motion of the apsides; and so contrariwise. That is, if the whole angular motion, with which the body returns to the same apsis, be to the angular motion of one revolution, or 360°, as any number as *m* to another as *n*, and the altitude called A; the force will be as the power $A^{\frac{nn}{mm}-3}$ of the altitude A; the index of which power is $\frac{nn}{mm}-3$. This appears by the second example (NEWTON, 1934, p.145).

Now, under the assumption that the motion of the apsides of any orbit of small eccentricity arises in the fashion alluded to in Proposition XLV, the first corollary indicates a method for determining the extent of deviation from the inverse-square proportion of the centripetal force by the given motion of an orbiting body! Newton illustrates this in concluding Corollary I to Proposition XLV:

> Lastly if the body in its progress from the upper apsis to the same upper apsis again, goes over one entire revolution and 3° more, and therefore the apsis in each revolution of the body moves 3° *in consequentia;* then *m* will be to *n* as 363° to 360° or as 121 to 120, and therefore $A^{\frac{nn}{mm}-3}$ will be equal to $A^{\frac{-29523}{14641}}$ and therefore the centripetal force will be reciprocally as $A^{\frac{29523}{14641}}$ or reciprocally as $A^{2\frac{4}{243}}$ very nearly. Therefore the centripetal force decreases in a ratio **something greater than the squared ratio** [emphasis added]; but approaching $59\frac{3}{4}$ times nearer to the squared than the cubed (NEWTON, 1934, p.146).

The virtually immobile aphelia of the planets implied, according to the formula of Corollary I of Proposition XLV, a nearly perfect inverse-square centripetal force acting between them respectively with the sun. The apses of the moon, whose motion amounts to roughly 3° per revolution, is obviously more sizeable.

The second corollary allowed the measurement of the effect on the motion of the apsides produced by a foreign force.

> Cor. II. Hence also if a body, urged by a centripetal force which is reciprocally as the square of the altitude, revolves in an ellipsis whose focus is in the centre of the forces; and a new and foreign force should be added to or subtracted from this centripetal force, the motion of the apsides arising from that foreign force may (by the third Example) be known; and so on the contrary. As if the force with which the body revolves in the ellipsis be as $\frac{1}{AA}$; and the foreign force subducted as cA, and therefore the remaining force as $\frac{A - cA^4}{A^3}$; then (by the third Example) A will be equal to 1, m equal to 1, and n equal to 4; and therefore the angle of revolution between the apsides is equal to $180^\circ \sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$. (NEWTON, 1934, p.146).

With respect to this Newton goes on to say:

> Suppose that foreign force to be 357.45 parts less than the other force with which the body revolves in the ellipsis; that is, c to be $\frac{100}{35745}$; A or T being equal to 1; and then $180^\circ \sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$ will be $180^\circ \sqrt{\frac{35645}{35345}}$ or 180.7623, that is

> 180°45'44". Therefore the body, parting from the upper apsis, will arrive at the lower apsis with an angular motion of 180°45'44", and this angular motion being repeated, will return to the upper apsis; and therefore the upper apsis in each revolution will go **forward 1°31'28". The apsis of the moon is about twice as swift** (NEWTON, 1934, p.147, emphasis added)

Corollary II of Proposition XLV related the apsidal motion to a mixture of inverse-square centripetal motion and a radial component of a perturbative force (foreign force). As we said, Newton was able only to account for roughly half the observed motion. But later in Proposition III of Book III Newton addresses the perturbative effect of the Sun on the moon's motion by saying:

> The action of the sun, attracting the moon from the earth, is nearly as the moon's distance from the earth; and therefore (by what we have shewed in Cor.2, Prop. XLV, Book I) is to the centripetal force of the moon as 2 to 357.45, or nearly so; that is, as 1 to $178\frac{29}{40}$. And if we neglect so inconsiderable a force of the sun, the remaining force, by which the moon is retained in its orb, will be reciprocally as D^2. This will yet more fully appear from comparing this force with the force of gravity, as is done in the next Proposition (NEWTON, 1934, p.407)[30].

Newton then adds a corollary to Proposition III that will be used later (in Cor. VII, Proposition XXXVII, Book III) in his calculation of the moon's centripetal acceleration.

30 This was added in the second edition.

> Cor. If we augment the mean centripetal force by which the moon is retained in its orb, first in the proportion of 177 29/40 to 178 29/40, and then in the duplicate proportion of the semi-diameter of the earth to the mean distance of the centres of the moon and earth, we shall have the centripetal force of the moon at the surface of the earth; supposing this force, in descending to the earth's surface, continually to increase in the reciprocal duplicate proportion of the height (NEWTON, 1934, p.407).

It would appear that Newton wished to have his readers believe that the ratio of the action of the sun (i.e., the mean "foreign" force) to the centripetal force on the moon would be 1 to $178\frac{29}{49}$. Recall the Cor. II of Proposition XLV, Book I formula for calculating the angle of revolution between apsides is equal to $180^{\circ}\sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$. Doubling this will yield the mean motion of the apsides in a complete revolution. Letting $c = 1/178\frac{29}{49}$ we get the mean angular motion to be 363°4'47". The moon's apsis, in one revolution, moves forward just over 3°. So, the substitution of this value of *c* yields a Cor. II value approximately equal to the observed mean motion of the lunar apogee per revolution.

Newton nowhere gives any direct explanation as to why he chose to use the ratio of 1 to 357.45 in illustrating Cor. II or Proposition XLV, Book I. Nor does he suggest that the motion of the moon's apogee might have a cause more complex than that described in the corollary and in the proof of Proposition III (WILSON, 1995, p.2).

Newton, in Propositions III and IV of Book III relies heavily on the result obtained from Corollaries I and II of Prop. XLV of Book I and Rules of Reasoning I and II. These two propositions are key in Newton's argument for universal gravitation.

If there was a weak spot in Newton's theory, the continental philosophers of nature reasoned that it would be in Newton's lunar theory. It is for this reason that we find Euler, Clairaut, and d'Alembert so heavily involved in its correction. In Proposition III Newton argued that the moon is maintained in its orbit by a centripetal inverse-square force directed toward the earth.

> That the force by which the moon is retained in its orbit tends to the earth; and is inversely as the square of the distance of its place from the earth's centre (NEWTON, 1934, p.406).

In order to show this Newton has to prove two things:

1. That at the centre of the centripetal force urging the moon into an orbit is the earth.
2. That this centripetal force is as the -2 power of the distance of the moon from the earth's centre.

The first part is proven by Phenomenon 6 - that the moon describes areas proportional to the times of description around the earth - and Propositions II and III of Book I[31]. Newton moves on to claim the

> latter [i.e., 2 above] from the very slow motion of the moon's apogee; which in every single revolution amounting to 3˚3¢ forwards, may be neglected. For (by Cor. I, Prop. XLV, Book I) it appears, that, if the distance of the moon from the earth's centre is to the semidiameter of the earth as D to 1, the force, from which such a motion will result, is reciprocally as $D^{2\frac{4}{243}}$, i.e., inversely as the power of D, whose

31 I will not recall the proof here as it is not substantive for our aim. Since we wish to look forward to Euler, Clairaut, and d'Alembert's discussion of the lunar theory then it is Newton's use of Prop. XLV of Book I that is germane.

> exponent is $2\frac{4}{243}$; that is to say, in the proportion of the distance something greater than reciprocally duplicate, but which comes 59 ¾ times nearer to the square than to the cube (NEWTON, 1934, p.406).

The 3°3¢ forward precession is accounted for, via Cor. I Prop XLV Book I, as measuring a centripetal force of -2.0167. Recall in that Corollary we are instructed to use $\frac{n^2}{m^2}-3$ in calculating the index of the altitude. Since we have a forward precession, m=363°3¢ and n=360°. Therefore

$$f \alpha \frac{1}{r^{2.0167}}$$

$$f \alpha \frac{1}{r^{2\frac{4}{243}}},$$

which is the same result Newton's calculations yield. Newton limits himself *to find the motion of the apsides in orbits approaching very near circles*[32]. Some of the planetary orbits have appreciable eccentricity. Mercury, for instance, has an orbital eccentricity of 0.2056.

32 Ronald Laymon (LAYMON, 1983) has claimed that "Newton's descriptions of the phenomena were typically incompatible with the then accepted observational data". A stable elliptical orbit, i.e., an elliptical orbit without precession, would correspond exactly to a centripetal force varying as the inverse square of the distance. Since our moon precesses forward it would seem that this example is compatible with Laymon's conjecture. Bill Harper (HARPER, 1989) has conclusively shown that Laymon's conjecture is wrong with respect to what Newton explicitly cited as phenomena. For example, consider the evidence for the Harmonic Law for Jupiter's moons (i.e., $R^3/T^2=K$) in Phenomenon I. In short, what Newton cited as Phenomenon I falls within what we would normally accept as reasonable limits of error. The largest error in Newton's table is less than a half standard deviation from the mean. Likewise, the same can be said for the evidence for the Harmonic Law ratio for the five primary planets as stated in Phenomenon IV.

Mercury, one of the primary planets, is obviously included in Proposition II, Book III and where he cites Proposition XLV. Valluriet al., (VALLURI et al., 1997, p.25) show how Newton is able to trust his result from Proposition XLV even where the orbital eccentricity is not close to zero, i.e., even where the orbits are not approaching very near circles[33].

In order to show the acceptability of Proposition III we have claimed that Newton needed to show that this centripetal force is as the -2 power of the distance of the moon from the earth's center. In the case of the moon there is a small departure from the inverse square variation. Newton further claims in Proposition III:

> But in regard that this motion is owing to the action of the sun (as we shall afterwards show), it is here to be neglected. The action of the sun, attracting the moon from the earth, is nearly as the moon's distance from the earth; and therefore (by what we have shewed in Cor. 2, Prop. XLV, Book I) is to the centripetal force of the moon as 2 to 357,45, or nearly so; that is, as 1 to $178\frac{29}{40}$. And if we neglect so inconsiderable a force of the sun, the remaining force, by which the moon is retained in its orb, will be reciprocally as D^2 (NEWTON, 1934, p.407).

33 The authors point out that: „Newton himself, viewing the systematic dependencies between force law and orbital shape that he had discovered, concluded that the relation between force law and orbital figure was one of mutual implication". They go on to say that Newton had found that for orbits differing from circles, very special force laws give rise to orbital closure and that "it must have seemed unlikely that such closure could arise under other laws for isolated values of the eccentricity–a violation of the systematic order he had discovered" (VALLURI et al., 1997, p.25).

At this point we have no reason to think that the sun would have any effect on the moon. After all this is what universal gravitation would imply and we have not proven that yet. Nonetheless, we can take Newton to be claiming that the motion of the lunar apsides is due to the influence of the sun and this perturbative effect ought to be subtracted in order to isolate the centripetal force drawing the moon toward the earth. In Cor. II of Prop. XLV of Book I, Newton gave the formula for calculating precession from the centripetal component of a foreign force as a fraction of the main central force. We recall that in this corollary (quoted above) Newton came up with the figure of forward precession of 1°31'28". Doubling this value we get 3°2'56" which is 4 minutes shy of the value Newton cites as the lunar precession in Proposition III, Book III.

Euler, Lunar Theory, and the Vindication of Universal Gravitation

It has been maintained in the literature[34] that on careful reading of Newton's analysis in the *Principia* (Prop. XLV, Book I, Props., III, IV of Book III) shows that he was able to come up with only half the moon's apsidal motion. After the publication of the *Principia* (all editions) there was some debate as to what Newton had really accomplished. It is with respect to this problem that we find, in the 1740s, three of Europe's foremost mathematicians engaged.

We notice, first, that it took fifty or so years after the publication of the *Principia* to achieve serious progress in analytical celestial mechanics. As early as 1714 the British Parliament offered to award a handsome prize for a procedure that would

34 See, for instance, Craig Waff's lucid account, "Clairaut and the motion of the lunar apse: the inverse-square law undergoes a test," in Wilson (1995).

give accurate longitudes at sea[35]. A prize of £30,000 would be awarded for a procedure that would give longitude to within ¼º, £20,000 to within ½º, and £10,000 to within 1º (HANKINS, 1970, p.30). Even with such a lucrative incentive, no lunar theory of this accuracy and precision was developed within the first half of the eighteenth century. Curtis Wilson has pointed out, rightly, that the lack of lunar theory with the requisite accuracy was due more to ignorance of how the mathematics were to be constructed than to anything else (WILSON, 1995, p.89). In fact, the various papers presented to the Paris Academy for the 1748 prize for a theory of Saturn and Jupiter aptly show the energies and time spent just figuring out how theories of perturbation, like the Sun-Jupiter-Saturn system or the Earth-Moon-Sun system, were to be carried out and constructed (WILSON, 1995, p.89).

In the 1740s, Euler, Clairaut, and d'Alembert undertook new analytical derivations of the Moon's motions from the inverse-square law. Initially, all three found a similar anomalous result: like Newton in Proposition XLV of Book I they were able only to recover half the observed motion. Much of the ensuing debate centered on Clairaut but an account of the debate and the other actors as well will prove to be illuminating.

---

35 We know that lunar theory was especially inviting because it offered a possible method for finding longitude at sea. Mariners had to depend on dead reckoning to find their longitude. The first reliable and accurate sea-going chronometers were made by Harrison and Berthoud in the 1760s and until that time it seemed that a table of the moon's position would be the best way to determine longitude. The Paris Academy offered yearly prizes on this and related topics. These alternated yearly between celestial mechanics and the theory of navigation. (HANKINS, 1970, p.29): "Lunar Theory was also inviting because it offered a possible method for finding longitude at sea. Ever since the Age of Exploration, mariners had had to depend on dead reckoning to find their longitude. The first accurate sea-going chronometers were made by Harrison and Berthoud during the 1760s and until that time it seemed that a table of the moon's position would be the best way to determine longitude".

Euler developed methods of integrating linear differential equations in 1739, fifty or so years after the publication of the first edition of the *Principia.* Euler drew up lunar tables in 1744 and reflected his study of the gravitational attractions in the earth, moon, and sun system. Clairaut and d'Alembert were also studying perturbations of the moon and, in 1747, Clairaut proposed adding a 1/r4 term to the gravitational law to explain the observed motion of the Moon's perihelion. However, by the end of 1748 Clairaut had discovered that a more accurate application of the inverse square law came close to explaining the precession. He published this version in 1752, and two years later, d'Alembert published his calculations going to more terms in his approximation than Clairaut. This work of the mathematicians of the eighteenth century is of importance for its role in getting Newton's inverse square law of force accepted in Continental Europe.

In a paper entitled "Recherches sur le mouvement des corps célestesengénéral" presented to the Berlin Academy of Sciences on 8 June, 1747, Euler called into question the accuracy of the inverse-square law[36]. For our present purposes we need to understand what Euler in fact says about Lunar Theory. With respect to the mutual forces among planets Euler expressed some doubts that they followed the inverse-square law exactly (EULER, 1747, p.4-5)[37]. His doubts were strengthened by empirical evidence.

---

36 Euler had been in correspondence with Clairaut since 1740 regarding the theoretical determination of the lunar nodes. A summary of the paper he read to the Berlin Academy in October 1744 was entitled „Sur le mouvement des noeuds de la Lune, et sur la variation de son inclinaison à l'Ecliptique" („On the motion of the lunar nodes and the variation of the lunar inclination). Euler further carried out an investigation of the moon's motion in May 1745 as evidenced by his correspondence with a former colleague at the St. Petersburg Academy, Jean-Nicolas Delisle.

37 For instance Euler claims in paragraph 8: "Voilà donc une raisson assez forte, pourquoi il sera permis de croire que la force, dont les Planetes sont poussées

There were the anomalies in the motions of Jupiter and Saturn and, more to our point, there was a careful study started in 1744 in which he found a number of disagreements between observation and the results derived from the inverse-square law. Euler pointed out that other commentators claimed that a perfect agreement existed between Newton's theory and the observations (EULER, 1747, p.4-5). Aside from the lunar inequalities, Newton's theory accorded fairly well with observations. As observational accuracy increased, perturbations in orbital paths were made easier to observe. For Euler, and anyone sensitive to Newton's confusing comments regarding lunar theory, the motion of the lunar apse was reason enough to call into question universal gravitation and the inverse-square ratio. (Recall that this agreement between observation and Newton's theory was immensely important in encouraging acceptance of the inverse-square law). The empirical evidence upon which Euler carefully studied and consequently doubted the accuracy of the inverse-square law included observations of the lunar nodes. In paragraph 11 of this essay he claims:

> Because at first having supposed, that the forces as much from the Earth as from the Sun, which act on the Moon, are perfectly proportional reciprocally to the squares of the distances, I have always found the motion of the apogee almost two times slower than the observations dictate; and although several small terms, which I have been obliged to neglect in the calculation, may be able to accelerate the motion of the apogee, I have

---

vers le Soleil, ne se régle pas parfaitement sur la raison renversée des quarrés des distances: et cette loi sera encore moins certaine, quand il s'agit des forces, dont les Planetes s'atirent mutuellement". ("Here then is a strong reason to maintain that the force directing the planets towards the sun is not in perfect agreement with the inverse-square law: and this law becomes even less certain when one considers the mutual attraction of the planets").

> ascertained after several researches, that they would be unable by far to make up for this lack, and that it is absolutely necessary, that the forces by which the Moon is at present time solicited, are a little different from the ones, which I have supposed; because the least difference in the soliciting forces produces a very considerable one in the motion of the apogee. I have noticed, as well, a small difference in the motion of the line of nodes from that expected from calculations, which undoubtedly arises form the same source (EULER, 1747, p.5)[38].

In the next paragraph, 12, Euler describes another unsuccessful test of the theory:

> Knowing the weight at the surface of the earth, I have concluded from it the absolute force, which ought to act on the Moon, by supposing that it decreased in doubled ratio of the distances. From this force compared to the periodic time of the Moon, I have deduced the mean distance of the Moon to the Earth, and

38 "Car d'abord ayant supposé, que les forces tant de la Terre que du Soleil, qui agissent sur la Lune, sont parfaitement proportionelles réciproquement aux quarrés des distances, j'ai trouvé toujours le mouvement de l'apogée presque deux fois plus lent, que les observations le marquent; et quoique plusieurs petits termes, que j'ai été obligé de negliger dans le calcul, puissent accélérer le mouvement de l'apogée, j'ai pourtant bien vu après plusieurs recherches, qu'ils ne sauroient de beaucoup près suppléer à ce deffaut, et qu'il faut absolument, que les forces, dont la Lune est actuellement sollicitée, soient un peu différentes de celles, que j'avois supposées; car la moindre différence dans les forces sollicitantes en produit une très considérable dans le mouvement de l'apogée. J'ai remarqué aussi une petite différence entre le mouvement de la ligne des noeuds, que le calcul donne, et celui que les observations ont donné à connoitre, qui vient sans doute de la même source." Euler, "Recherches sur le mouvement des Corps célestes en général", (p.5). The original is in French and translated here by the author.

> then its horizontal parallax to this same distance. But this parallax has been found a little too small, with the result that the Moon is less distant from us, than according to the theory, and leaving the force, by which the Moon is impelled toward the Earth, smaller, than I have supposed (EULER, 1747, p.5) [39].

Euler goes on to describe that his attempt involved separating the component of the total force acting on the moon corresponding to the Earth from that corresponding to the Sun. The force of the Earth on the Moon ought, then, to result in an action of the Moon in perfect agreement with Kepler's laws (paragraph 13). But his attempt couldn't be accomplished according to commonly accepted rules. He, therefore, concludes:

> All these reasons joined together appear therefore to prove invincibly, that the centripetal forces which one conceives to apply in the Heavens, do not follow exactly the law established by Newton[40].

Added to this are his researches on the perturbation of Saturn's motion by Jupiter. Euler surmised that there would likely

39 "Connoissant la quantité de la pesanteur à la surface de la Terre, j'en ai conclu la force absolue, qui doit agir sur la Lune, en supposant qu'elle décroit en raison doublée des distance. De cette force comparée au tems périodique de la Lune, j'ai déduit la distance moyenne de la Lune à la Terre, et ensuite sa parallaxe horizontale à cette même distance. Mais cette parallaxe s'est trouvée un peut trop petite, de sorte que la Lune est moins éloignée de nous, qui suivant la théorie, et partant la force, dont la Lune est poussée vers la Terre, plus petite, que j'avois supposé" (EULER, 1747, p.5).

40 "Toutes ces raisons jointesensemble paroissent donc prouver invinciblement, que les forces centripetes qu'on conçoit dans le Ciel, ne suivent pas exactement la loi établie par Neuton" (EULER, 1747, p.6).

be found further discrepancies between the calculated and the observed motions of the other planets of the solar system.

We present a discussion of these more general problems here to raise a particular point, viz., that Euler maintained that Newton's inverse-square law could no longer be taken as a given in describing the forces between celestial bodies. For he goes on to say in the fourteenth paragraph:

> The theory of Astronomy is therefore still much further removed from the degree of perfection, to which it has been thought to be already carried. Because if the forces, by which the Sun acts upon the Planets, and the latter upon each other, were exactly in inverse ratio of the squares of the distances, they would be known, and consequently the perfection of the theory would depend on the solution of this problem: *That the forces, by which a Planet is solicited, being known, the motion of this Planet is determined*. This problem quite difficult as it can be, appertains nevertheless to pure Mechanics, and it can be hoped, that with the assistance of some new discoveries in Analysis, its solution can finally be attained. But as the law itself of the forces, by which the Planets are solicited, is not yet perfectly known, it is no longer an affair of Analysis alone: and much more than it is necessary in order to work for the perfection of theoretical Astronomy (EULER, 1747, p.6)[41].

41 "La théorie de l'Astronomie est donc encore beaucoup plus éloignée du degré de perfection, auquel on pourroit penser, qu'elle soit déjà portée. Car si les forces dont le Soleil agit sur les Planetes, et celles-cy les unes sur les autres, étoient axactement en raison renversée des quarrés des distances, elle seroient connues, et par conséquent la perfection de la théorie dependroit de la solution de ce probleme: *Que les forces, dont une Planete est sollicitée, étant connues, on determine le mouvement de cette Planete.* Ce probleme tout difficile qu'il puisse être,

In short, for meaningful progress to be made with the help of applications of mechanics and analysis, the true motions of the planets are to be determined not with a known attraction law, i.e., inverse-square, but rather the law is itself to be scrutinised.

In another paper completed after «Recherches sur le mouvement des corps célestes en général» Euler made a similar conclusion. In his "Recherches sur la question des inégalités du mouvement de Saturne et de Jupiter", which was his successful entry in the 1748 prize contest of the Paris Academy of Sciences, Euler draws a slightly different conclusion in his discussion of perturbative effects observed in the motions of Jupiter and Saturn.

In 1746 the Paris Academy announced that it was seeking, for the 1748 contest, "a theory of Saturn and of Jupiter by which the inequalities which these planets appear to cause mutually, principally near the time of their conjunction, can be explained". We do need to examine it briefly here as it does inform an understanding of the Eulerian Lunar theory.

We find Euler, in the introduction to his essay, reasoning that it was overwhelmingly likely that the academy had in mind Newton's theory of universal gravitation "which has been found up to now so admirably well in agreement with all the celestial motions, that whatever will be the inequalities which are found in the motions of the Planets, it can always be boldly claimed that the mutual attraction of the Planets is the cause of them". Whatever doubts Euler was harbouring against inverse-square variations and the nature of gravity - whether it was attraction or impulsion in some medium -we see Euler here proclaiming the acceptability of universal gravitation by the community of

appartient néantmoins à la Mécanique pure, et on pourroit espérer, qu'à l'aide de quelques nouvelles découvertes dans l'Analyse, on sauroit enfin parvenir à sa solution. Mais comme la loi même des forces, dont les Planetes sont sollicitées, n'est pas encore parfaitement connue, ce n'est plus une affaire de l'Analyse seule: et il en faut bien davantage pout travailler à la perfection de l'Astronomie théorique" (EULER, 1747, p.6).

practicing astronomers. In order to solve this problem, claims Euler, one needs to solve a purely mechanical problem.

The inequalities observed by astronomers in the motion of Jupiter and Saturn are readily perceived; to answer satisfactorily the prize question, it is necessary only to determine the motion of three mutually attracting bodies in proportion to their masses and inversely as the squares of their distances and then to put the Sun for one of these bodies and Saturn and Jupiter for the other two (EULER, 1748, p.46)[42].

The proposed prize question is reduced, then, for Euler, to a purely mechanical problem. Euler cautions the reader, though, that although the problem is a problem of mechanics, it was one of the most difficult in mechanics to solve. A perfect or exact solution could only be achieved once much further progress is made in mathematical analysis. Nonetheless, since the Sun's mass is considerably larger than Saturn's and Jupiter's and since the latter two planets have near-circular orbits, a solution to the problem by approximation is feasible. It is in this fashion that Euler attacked the problem. Interestingly at the end of §2 Euler proclaims that this project, Saturn-Jupiter, is more difficult than the Lunar problem (which to that point had been judged to be the more difficult).

He shows, in §7, some concern that he has not been able to reconcile theory and observation, i.e., that he has not been able to perfectly account for all of Saturn's irregularities. Nevertheless, he still claimed that the prize ought to be awarded to him for

42 "Recherches sur la question des inégalités du mouvement de Saturne et de Jupiter": "[L]a cause des inégalités que les Astronomes on remarqués dans le mouvement de Saturne et Jupiter, est manifeste; et pour satisfaire à la question proposée, on n'aura qu'à déterminer le mouvement de trois corps qui s'attirent mutuellement en raison composée de celle de leurs masses, et de la raison inverse des quarrés de leurs distances, et mettre ensuite à la place de l'un de ces trois corps le Soleil, et les corps de Saturne et Jupiter au lieu des deux autres" (EULER, 1748, §, p.46).

his work on the Saturn-Jupiter problem, and confirmed by his work in Lunar theory which, showed that a general correction to Newton's theory was in order.[43] After having carefully compared lunar observations with the theoretical predictions, Euler noticed that the Earth-Moon distance is not as large as required by the theory and this in turn implied that the Moon gravitates toward the Earth in a fashion less than inverse-square of the distances. Newton's theory was in need of correction for the above reasons and for the fact that there are certain small irregularities in the Moon's motion[44].

After comparing lunar observations with theory and comparing this work to his work on the motion of Saturn, it seemed that

> the Newtonian ratios according to the square of the distances held for small distances and deviated from truth with large distances (EULER, 1748, §7, p.49)[45].

Now with respect to Saturn, which is itself at an immense distance from the Sun, its irregularities could perhaps be explained by its large distance from the Sun. Euler even suggests that perhaps Jupiter's action on Saturn might diverge from inverse-square, as the distance between them is immense. Valentin Boss argues that

43 He noted that this correction would require a greater number of more accurate observations and more time to examine them in order to make necessary corrections.

44 It is curious that Euler does not identify the "small irregularities" (quelques petities irrégularités). We again note that this paper won the prize contest of 1748 even though the solution of the prize problem wasn't forthcoming in the paper *per se*.

45 "Il me semble donc que la proportion Newtonienne selon les quarrés des distances, n'est vraie qu'à peu près dans le sforces des corps célestes, et que peut-être elle s'écarte d'autant plus la vérité que les distances sont grandes" (EULER, 1748, §7, p.49).

this aspect of Euler's theory reflects his adherence to an aether theory and makes him anti-Newtonian (BOSS, 1972, p.215). We will see that although Euler accepted the aether theory, the issue surrounding his alleged anti-Newtoniasm is not resolved by his metaphysical belief in aether.

Two of the judges, Clairaut and d'Alembert, had a particular interest in the contest as they themselves were hard at work on the Lunar Theory and the general three-body problem.

Clairaut and d'Alembert

In 1745 Clairaut was working on the problem of the Moon's orbit and on the three-body problem in general. D'Alembert attacked the same problem the following year so that by 1747 both were actively involved in solving it. Even though both were in Paris, they worked in secret giving parts of their theories to the Academy and depositing uncompleted portions with the Secretary of the Academy in the form of sealed *pliscachetés* (envelopes)[46].

Clairaut was undoubtedly pleased in receiving Euler's paper (for by this time Euler had already gained a considerable reputation). Euler's discomfort with the inverse-square law resonated with Clairaut. Instead of looking at the discrepancy between the observed lunar distance and its predicted distance according to the inverse-square law, Clairaut maintained that the more

46 D'Alembert, it seems, played in this competition much more energetically than Clairaut. A few times throughout his career, d'Alembert would go so far as publishing incomplete works, mistakes and all, in order to circumvent Clairaut from claiming primacy. (Clairaut was elected to the Academy in July 1731 at the age of 18; d'Alembert was elected to the Academy in 1741 at the age of 23.) With respect to the Lunar Theory, d'Alembert even had the Secretary initialise every page of one memoir to guarantee primacy (HANKINS, 1970).

illuminating discrepancy was the one surrounding the motion of the lunar apogee[47].

Even before reading Euler's essay, Clairaut (as one of the judges of the prize contest) maintained that his discovery of the motion of the lunar apogee was sufficiently important to be publicly discussed at the mid-November meeting of the Paris Academy in 1747.[48] The greatest possible surprise came at this mid-November meeting when Clairaut announced, in rather pompous phrases, that ***the Newtonian theory of gravity is false!*** Although Cartesianism was beginning to dissipate, even in Paris by this time, to have Clairaut, whose work on the shape of the earth with Maupertuis had helped fortify Newtonianism on the continent, publicly call into question the inverse-square law surely delighted the Cartesians at the Paris Academy. He added that after careful calculations on the motion of apsides of the moon, he had found that the observed motion differed by a factor of two from the results predicted by Newton's law[49]d'Alembert was by this time in agreement. So we have three of the foremost mathematicians in Europe in agreement regarding the shortcomings of the inverse-square law-that there was a discrepancy between observation and theory for the motion of the apsides. Euler, in fact, wrote Clairaut 30 September, 1747 claiming:

47 Euler did later communicate to Clairaut that he came to consider the motion of the Moon's apogee to be pivotal in the proof that the forces, which act on the Moon, do not adhere exactly to Newton's law.

48 For a careful reading of these events see Waff, "Clairaut and the motion of the lunar apse," Wilson (1995); Hankins' (1970) book, *Jean d'Alembert* offers a lively and useful discussion of these events.

49 His controversial pronouncements at this meeting had been previously deposited in a sealed envelope with the Secretary in September, two months prior to this meeting. We should note that two months after Clairaut deposited his results but prior to this meeting, d'Alembert deposited a *plis cacheté* on the same subject and his results agreed with those of Clairaut (HANKINS, 1970; WAFF, 1995).

> I am able to give several proofs that the forces which act on the moon do not exactly follow the rule of Newton, and the one you draw from the movement of the apogee is the most striking, and I have clearly pointed this out in my lunar theory, … since the errors cannot be attributed to the observations, I do not doubt that a certain derangement of the forces supposed in the theory is the cause. This circumstance makes me think that the vortices or some other material cause of these forces ought to be altered when they are transmitted by some other vortex (HANKINS, 1970, p.32).

It would appear that with Euler's backing, Clairaut would be less hesitant to deny Newton's theory. This passage is further illuminating in that we see Euler, who believed in an aether, returning to vortices in light of a failure in Newton's theory[50].

The academicians who still retained allegiances to Descartes were, obviously, excited that the Newtonians were causing the destruction of their own doctrine. History offers us many twists. Clairaut eventually solved the lunar problem and this placed him firmly in the Newtonian camp. Another Newtonian, the naturalist Buffon, attacked Clairaut's previous findings on metaphysical grounds. Clairaut had suggested that Newton's law ought to be modified to contain two terms so that force might vary in the following way:

$$F \propto \frac{1}{r^2} + \frac{1}{r^4}$$

where k is some constant to be determined. The second term, claimed Clairaut, might account for not only the perturbative effect but might also account for the phenomena of surface

50 Euler in a letter to Clairaut later ceded priority to Clairaut. D'Alembert would do the same thing in a letter to Cramer.

tension. In his reading at the 20 January, 1748 session of his *Reflexions sur la loi de l'attraction* Buffon insisted that the law of gravitation must have only one term, otherwise it would not be a simple function of the distance and would represent several forces rather than a single force. For Buffon, this suggested that the discrepancy might be due to a magnetic force-that is, gravitation might not be the only operative force. If gravitation is not the only operative force then it was conceivable, Buffon argued, that different types of matter may attract according to different laws (HANKINS, 1970, Chapter 3; WAFF, 1995, p.174). In the four or five public exchanges between Clairaut and Buffon, it becomes apparent that Clairaut's Newtonianism is quite different from Buffon's. Buffon was defending inverse-square variation largely on metaphysical grounds whereas Clairaut was offering a multi-term modification of inverse-square in order to aid in explaining a wide variety of phenomena-both celestial and terrestrial - without the use of any other physical principle besides gravitation.

In the meanwhiled'Alembert had begun speculating about Buffon's suggestion and seems to have had a vested interest in the Buffon-Clairaut controversy or debate. d'Alembert suggested at one point that it may be worthwhile to investigate a possible correlation between the movements of the moon with the variations of a compass needle, for this would make his conjecture that the force acting on the moon does not simply depend on its distance from the earth but is a function of this distance and some other unknown variable (HANKINS, 1970, p.33), d'Alembert points out that this would be a considerable undertaking.

It is interesting to note d'Alembert's movement with respect to the lunar theory. In later developments d'Alembert would admit to having misread lunar tables but, even with the necessary corrections, his results accorded well with Euler's. Perhaps d'Alembert, at the end of August 1748, best exemplifies the spirit (as Ernst Cassirer would have us believe) of the scientific developments:

> Although this proves that there is another force besides that of gravitation which acts on the moon, it seems to me that the theory of the moon, such as it is, is the most victorious proof of the Newtonian system of attraction (HANKINS, 1970, p.34).

d'Alembert's increased precision in his lunar theory had narrowed the gap between inverse-square and experience. Nonetheless, he still maintained that the motion of the apsides was probably due to an extra force such as magnetism. By December 1748 d'Alembert had completed his book on the theory of the moon. But with unusual restraint he opted to wait for Clairaut to finish in order to see if he and Clairaut were in agreement.

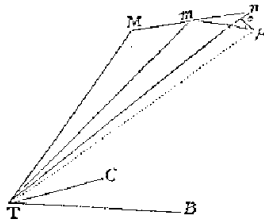
Just as he had earlier stood and pompously proclaimed the fallibility of Newton's theory, Clairaut, on 17 May 1749, publicly declared in the Academy that ***Newton's law had been correct all along!*** A mere five days prior to Clairaut's retraction, d'Alembert wrote Cramer that he was embarrassed to have even entertained the notion of overthrowing Newton.

In the next part, I will provide a sketch of Clairaut's general solution to the problem. Although the solution itself is extremely important it will be in our interest to say something about the developments outlined here and how they fit into the general thesis that these developments exemplify what we have been calling the entrenchment of Newton's ideal of empirical success.

Sketch of Clairaut's Solution

Clairaut's retraction came at the end of 1748 and beginning of 1749. It wasn't until 1752, however, that his memoire outlining his solution was printed. I will refer to the first memoire, "Concerning the Orbit of the Moon," as Memoire (a) and to "Demonstration of the Fundamental Proposition of My Lunar Theory," as Memoire (b).

The goal is to develop a general equation for the curve which would be described by a body affected by the action of two forces, Σ directed toward a centre, T, and Π drawing the body away perpendicularly from the centrally directed force.

Figure 2 - Clairaut, Alexis-Claude (CLAIRAUT, 1749) Memoire (b) drawing for a 3-body problem.

He let *Mm* be that part of the curve described in an infinitely small time, *dx*. Letting *Mm*=*mn*, *n* is the point where the body would be after another infinitely small time, *dx*, if the accelerating force ceased to act at the end of the first instant. The composition of forces Π and Σ gives us *m*μ as the part of the curve described in the second instant (*Mm* is the part of the curve described in the first instant.) At *m* the body is under the influence of an accelerating force. In the absence of such a force the body would "fly off" tangentially toward *n*. The composition of the radial and transverse forces will result in the body being held in orbit about *T* by being deflected toward μ .

Clairaut makes the assumption that this body moves in an orbital plane. The equations Clairaut derives at the end of this first problem are:

$$rddv + 2drdv = \Pi dxx^2 \quad (1)$$
$$rdv^2 - ddr = \Sigma dx^2 \quad (2)$$

where r is the radius vector Tm, v the longitude, Π the sum of the transverse forces, Σ the sum of the radial forces, and dx the

infinitely small time[51]. Clairaut's solution is to show that if Σ, the sum of the radial forces, is composed of an inverse square variation plus some other term, then if the other term approaches zero, the radial force then is an inverse-square variation and any perturbative effect is due to the transverse force. For the earth-moon system this means that Newton was right (as we will see) in Proposition III, Book III to claim that the small forward precession of the lunar apsides was due to the effect of the sun on the moon and subtracting this effect left the centripetal force drawing the moon toward the earth as proportional to the inverse-square of the distance. Equation (2) now becomes

$$rdv^2 - ddr = \left(\frac{\mathrm{M}}{\mathrm{rr}} + \phi\right) dx^2 (2a)$$

By two successive integrations of (1), Clairaut arrives at a differential of time:

$$dx = \frac{rrdv}{\sqrt{(f^2 + 2\Pi r^3 dv)}}$$

Substituting this expression in (2a) and integrating twice Clairaut deduces

$$\frac{\varsigma}{Mr} = 1 - g \sin v - g \cos v + \sin v \int \Omega\, dv \cos v - \cos v \int \Omega dv \sin v \ (3)$$

which is the sought after equation, and where f and g are constants of integration and W is a function of r and the perturbing force P[52]. The left side of (3) along with the first three terms on the right side define r with respect to a fixed elliptical orbit. The second part then carries the perturbative effect and this can be

51 I have kept with Clairaut's notation although it would simplify matters a bit to label time as dt instead of dx.

52 Inspection of the translation provided in the appendix will confirm this.

explained through approximation. The other two terms of equation (3),

$$\sin v \int \Omega \, dv \cos v - \cos v \int \Omega dv \sin v$$

represent the correction to the orbit due to the perturbative effect of forces F and P.

With his result Clairaut was able to claim that Newton's inverse-square law could be used to account for the deviation of the moon's motion from an idealised Keplerian orbit.

Euler on the Motion of the Lunar Apse

The problem of the apsidal motion admitted an algebraic solution. Newton did not have the analytical tools necessary to develop the algorithmic solution required. He, as has been so well documented, employed a geometric technique which was inadequate to capture properly the motion of the lunar apse. There was not any significant development with respect to the problem surrounding the motion of the lunar apse until the 1740s when Euler and other continental philosophers applied their analytical techniques to the solution of this problem. Recently, Victor Katz and Curtis Wilson, among others, have shown that differentiation and integration of trigonometric functions had not been part of the standard procedures in the solution of differential equations prior to 1739 when it was Euler who incorporated them[53].

Euler, we have seen, had grave doubts regarding the exactitude of the inverse-square law. In both "Recherches sur le mouvement des corps célestes en générale" and "Recherches sur la question des inégalités du mouvement de Saturne et de Jupiter,"

53 This was some twenty-five years after the British Parliament established a handsome prize for determining longitude at sea which required an adequate lunar theory.

Euler expressed his reluctance in accepting the inverse-square law. Like Clairaut and d'Alembert, Euler was able to recover only half of the motion of the lunar apse. Euler determined that by calculation the Moon is closer than it is in fact. This discrepancy between theory and observation preoccupied Euler, Clairaut, and d'Alembert until the problem was solved. In this light the British Parliament prize, as handsome as it was, can be claimed not to have been the motivation it was meant to have been. Euler, it appears, was driven by an ideal to have theory in agreement with observation. Euler admitted that Newton's theory enjoyed a considerable amount of success. Nonetheless, the motion of the lunar apse, as well as the perturbative effect of Jupiter on Saturn, drew into question Newton's success.

It can be said that a number of natural philosophers also questioned Newton's discussion of the motion of the lunar apse. This problem was one of many suggested in the *Principia.* Does not the whole intellectual climate formed in large part by Euler, Clairaut, and d'Alembert admit to a "Kuhnian crisis in science?" Euler, I believe, offers an interesting test case for what is the entrenchment of Newton's ideal of empirical success.

By 1748 Euler had publicly called into question the inverse-square law on the evidence that it yielded only half of the motion of the lunar apse. What is interesting about Euler is his metaphysical conviction in aether theory. He maintained that the transmission of all forces had to be carried out in some medium.

Even in September 1760, much after the debate surrounding the motion of the lunar apse had ceased, we find Euler still holding on to aether theory. In his fifty-fourth letter to a young German princess, the Princess of Anhalt-Dessau, Euler remarks:

> It is established, then, by reasons which cannot be controverted, that a universal gravitation pervades all heavenly bodies, by which they are attracted to each other; and that this power is greater in proportion to their proximity.

> This fact is incontestable; but it has been made a question, whether we ought to give it the name of impulsion or attraction. The name undoubtedly is a matter of indifference, as the effect is the same. The astronomer, accordingly, attentive only to the effect of this power, gives himself little trouble to determine whether the heavenly bodies are impelled towards each other, or whether they mutually attract one another; and the person who examines the phenomena only is unconcerned whether the earth attracts bodies, or whether they are impelled towards it by some invisible cause.
>
> But in attempting to dive into the mysteries of nature, it is of importance to know if the heavenly bodies act upon each other by impulsion, or by attraction; if a certain subtile invisible matter impels them towards each other; or if they are endowed with a secret or occult quality by which they are mutually attracted. On this question philosophers are divided. Some are of the opinion, that this phenomenon is analogous to an impulsion; others maintain, with Newton, and the English in general, that it consists of attraction (EULER, 1833, p.191)[54].

So by 1760 it would appear that Euler was resolutely a supporter of universal gravitation and the inverse-square law. Although he claims in this letter that it matter not whether gravitation is properly conceived as an impulse or as an attraction as the deciding factor is the bulk of effects observed as a result of gravitation. Nonetheless he still finds it necessary to discuss either conception noting, in a fashion reminiscent of Leibniz, that Newton and the attractionists held that the heavenly bodies

54 Letter LIV, dated 7th September, 1760.

act on one another while being endowed with a *secret* or *occult* quality. Euler, himself, remained an impulsionist, as evidenced by this letter to the young princess.

Euler maintained that gravity had a physical cause, not yet known in detail but certainly arising from the action of the fluid matter filling space. In these letters to the young princess, Euler contained himself to a discussion of the attractionists and the impulsionists. Given his position, by this time, as an impulsionist, it is a curious fact that Euler does not discuss rivals to Newton's theory although he accepted the role of an aether in gravitation. While one may pick one or the other of aether or void, Euler, by 1751, and expressed through these letters of 1760, thought that observations corresponded quite well to the theoretical expectations of Newton's theory. We see Euler not attempting to prove Newton's theory is correct piecemeal but, rather, by measuring phenomena which are backed up by open ended sets of observations. He was cashing in on a method, propounded by Newton, which the vortical theory (and mechanism generally) could not match. For this reason, the Newtonian theory appears without rival, not even Descartes' vortices, in Euler's letters to the Princess.

In 1753 Euler published his own derivation of the lunar inequalities in his *Theoria motus lunae exhibens omnes eius inaequalitates.* We are told that the aim of this work was to test Clairaut's retraction of May 1749. That is, Euler was publicly verifying, for himself, that Clairaut was right in asserting that Newton's inverse-square law sufficed to recover not half but the full motion of the lunar apse. At Euler's suggestion, the St. Petersburg Academy chose for its first prize contest for 1751 the question of whether the motions of the Moon accorded with the inverse-square law of Newton. Euler was one of the judges. As in 1747 where Clairaut and d'Alembert anticipated Euler entry in the Paris Academy's contest, we now find Euler anxiously waiting for Clairaut's paper on a similar topic.

By late winter or early spring of 1751 Euler communicated with Clairaut telling the latter that he was in receipt of four essays, one of which is obviously the latter's with the remaining three poor not only in relation to Clairaut's, but in and of themselves. He went on to claim:

> It is with infinite satisfaction that I have read your piece, which I have waited for with such impatience. It is a magnificent piece of legerdemain, by which you have reduced all the angles entering the calculation to multiples of your angle v, which renders all the terms at once integrable. In my opinion this is the principal merit of your solution, seeing that by this means you arrive immediately at the true motion of the apogee; and I must confess that in this respect your method is far preferable to the one I have used. However I see clearly that your method cannot give a different result of the motion of the apogee than mine; in which I have recently made some change, for having previously reduced all angles to the eccentric anomaly of the Moon, I have now found a way to introduce the true anomaly in its place. Thus while your final equation has its two principal variables the distance of the Moon from the Earth and the true longitude, I have directed my analysis to the derivation of an equation between the longitude of the Moon and its true anomaly, which seems to be more suitable for the usage of astronomy[55].

Like Clairaut, Euler satisfied himself that Newton's inverse-square law could account for the motion of the lunar apse. He says in a letter dated 27th July, 1751 to Tobias Mayer:

---

55 Translated by Curtis Wilson from G. Bigourdan, "Lettres inédites d'Euler à Clairaut".

> At least, when I repeated my researches on this subject, I took into account the true anomalies of the Sun and Moon as well as the true distance of the Moon from the Sun, which seems to me to be far more convenient. My actual intention was to investigate thoroughly how accurate the theory of Newton concerning the motion of the Moon's apogee agrees with the observations. For not only I, but others too who worked on this, have hitherto always found that according to theory the motion of the apogee should be only half as large as it has, in fact, found to be. Now, however, I have found to my great pleasure that this part of Newton's theory is exactly in accordance with the observations: therefore it is much less to be doubted that the agreement should not be complete: there are, however, still nearly insurmountable difficulties connected with the calculation for determining accurately all the lunar inequalities from the theory (FORBES, 1971, p.38).

The agreement is there, the refinements are to come. That is, the approximations needed to carry out the calculations of the lunar inequalities were difficult. The image one gets here is that as assumptions are stripped away the parameters involved in the calculations increase. As these increases, the calculations become more and more difficult[56]. Euler, in a letter to Mayer nearly a

56 Again in the letters to the princess Euler relates this position. For instance, he claims: "The motion of the moon has accordingly in all ages greatly embarrassed philosophers; and never have they been able to ascertain, for any future given time, the exact place of the moon the heavens. … Now in calculating eclipses formerly, there was frequently a mistake of an hour or more, the eclipse actually taking place an hour earlier or later than the calculation. Whatever pains the ancient astronomers took to determine the moon's motion, they were always very wide of the truth. It was not until the great *Newton* discovered the

half-year later mentions the difficulty in carrying out such calculations. In this letter, Euler notes that the lunar inequalities are complicated by the shape of the earth and whether the Moon has a declination. Even with all these complications, Euler is confident in proclaiming the exactitude of inverse-square. The influence Euler exerted with such a pronouncement is remarkable. By 1751, the tide of informed opinion was clearly favoring the agreement of inverse-square with the motion of the lunar apogee. Mayer went on to publish the most accurate lunar tables with Euler's help.

The reader will recall that Newton placed a great deal of weight behind his argument for universal gravitation on the proposition that the Moon's motions can be accounted for with an inverse-square variation. Propositions III and IV (the Moon Test) of Book III are monumental in this respect. That Newton left lunar theory in a state of confusion allowed for non-Newtonians to attack Universal Gravitation. We have seen that Euler, Clairaut, and d'Alembert saw lunar theory as the "jugular" so to speak. Their efforts went from trying to account for the motion of the lunar apogee along Newton's theory to showing that since latter was not successful the theory was in need of correction. In the process they discovered that the theory actually did yield the motion of the apogee. In the case of Euler, his metaphysical commitment to aether theory did not detract him from accepting inverse-square variation. His letters to a young princess showed him accepting inverse-square while still claiming he was an impulsionist. He had no scientific grounds for such a belief and he was ready to admit so. He thought conceptually that it made more sense than attraction at a distance but it had no bearing on the veracity of inverse-square.

---

real powers which act upon the moon, that we began to approach nearer and nearer to truth, after having surmounted many obstacles which retarded our progress"Letter LXI, 23rd September, 1760 (EULER, 1833, p.211).

References

ALEMBERT, Jean le Rond d'. (1751). **Preliminary Discourse to the Encyclopedia of Diderot**. Trans. Richard N. Schwab. Indianapolis: The Bobbs-Merrill Company (The Library of Liberal Arts), 1963.

ALEMBERT, Jean le Rond d'. **Oeuvres de d'Alembert: sa vie, ses oeuvres, sa philosophie.** Paris: Eugène Didier, 1853.

BOULOS, P. **From Natural Philosophy to Natural Science. The Entrenchment of Newton's Ideal of Empirical Success.** (Ph.D. Dissertation), 1999.

BUFFON, George Louis Leclerc, Compte de. **Oeuvres philosophiques.** Ed. Jean Piveteau. Paris: Presses Universitaires de France, 1954.

CASSIRER, Ernst. **The Problem of Knowledge: Philosophy, Science, and history since Hegel.** Trans. Willliam H. Woglom and Charles W. Hendel. New Haven: Yale University Press; London: Oxford University Press, 1950.

CASSIRER, Erns. **The Platonic Renaissance in England.** Translated by James P. Pettergrove. Edinburgh: Nelson, 1953.

CHANDRASEKHAR, S. **Newton's Principia for the Common Reader.** Oxford: Clarendon Press, 1995.

CLAIRAUT, Alexis-Claude. Du système du monde dans les principes de la gravitation universelle. **Histoire de l'Académie Royale des Sciences,** année MDCCXLV, avec les mémoires de

mathématique et de physique pour la même année. Paris: de l'Imprimerie Royale, 1749, p.329-364.

CLAIRAUT, Alexis-Claude. De l'orbite de la Lune en ne négligeant pas les quarrés des quantités de même ordre que les forces perturbatrices. **Procès verbaux**, Académie des Sciences, Paris. v.71, p.161-164, 1752.

CLAIRAUT, Alexis-Claude. Demonstration de la Proposition Fondamentale de ma Théorie de la Lune. **Procès verbaux,** Académie des Sciences, Paris. v.71, p.165-168, 1752a.

COHEN, I. B.; SCHOFIELD, R.E (eds.). **Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy and Related Documents.** Cambridge, Mass., London: Harvard University Press, 1958.

COHEN, I. B.; WESTFALL, R.S. (eds). **Newton.** New York: W.W. Norton & Company, 1995.

DU PASQUIER, L.-Gustave. **Léonard Euler et ses amis.** Paris: Librairie Scientifique J. Hermann, 1927.

EULER, Leonhard. Recherches sur le mouvement, **Opera Omnia: Series 2**, v.25, p.1-44, 1747.

EULER, Leonhard. Recherches sur la question des inegalites du mouvement de Saturne et de Jupiter, **Opera Omnia: Series 2,** v.25, p.45-157, 1748.

EULER, Leonhard. **Letters of Euler to a German Princess, On Different Subjects in Natural Philosophy**, Edited by Sir David Brewster, London: J&J Harper, 1833.

EULER, Leonhard. **Elements of Algebra.** New York: Springer-Verlag, 1984.

FORBES, Eric G. **The Euler-Mayer Correspondence (1751-1755):** A New Perspective on Eighteenth-Century Advances in Lunar Theory. London: The MacMillan Press, 1971.

FORBES, George. **History of Astronomy.** New York: G. P. Putnam and Sons, 1909.

GUERLAC, H. **Essays and Papers in the History of Modern Science.** Baltimore: The Johns Hopkins Press, 1977.

HANKINS, T. L. The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century. **Archives internationalesd'histoire des sciences**, v.20, p.43-65, 1967.

HANKINS, T. L. **Jean d'Alembert. Science and the Enlightenment.** Oxford: The Clarendon Press, 1970.

HANKINS, T. L. **Science and the Enlightenment.** Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

HARPER, William. Consilience and natural kind reasoning. In: An intimate relation. Springer, Dordrecht, 1989, p.115-152.

HARPER, W. L. Newton's Classic Deductions from the Phenomena. **PSA 1990**, v.2, p.183-196, 1991.

HARPER, W. L. Reasoning from the Phenomena: Newton's Argument for Universal Gravitation and the Practice of Science. In: THEERMAN, P.; SEEFF, A.F. (eds.). **Action and Reaction (Proceedings of a Symposium to Commemorate the**

Tercentenary of Newton's Principia), Newark: University of Deleware Press, 1993, p.144-182.

HARPER, W. L. Isaac Newton on Empirical Success and Scientific Method. In: EARMAN, J.;J. Norton, eds. **Serious Philosophy and History of Science**. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

HARPER, W. L. Isaac Newton on Empirical Success and Scientific Method. In: EARMAN, J.; NORTON, J. (eds.). **The Cosmos of Science.** Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1999.

HARPER, W. L.; SMITH, G. Newton's New Way of Inquiry. In: LEPLIN, ed. **Sientific Creativity: The Construction of Ideas in Science.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995.

NEWTON, I. **Principia.** v.2. Trans. A. Motte and F. Cajori. Berkeley: The University of California Press, 1934.

NEWTON, I. **Papers and Letters on Natural Philosophy and Related Documents.** ed. I. B. Cohen & R. E. Schofield. Cambridge: Cambridge University Press, 1958.

NEWTON, I., **The Correspondence of Isaac Newton**. 7 vols. Ed. H.W. Turnbull, J. F. Scott, A. Rupert Hall, and Laura Tilling. Cambridge: at the University Press.1959-1977

NEWTON, I.: **Unpublished Scientific Papers**. Ed. A.R. Hall and M.B. Hall. Cambridge: Cambridge University Press, 1962

NEWTON, I., **The Mathematical Papers of Isaac Newton**. 8 vols. Ed. D.T. Whiteside. Cambridge: at the University Press.1967-1981

NEWTON, I., **Isaac Newton's Philosophiae naturalis principia mathematica**. The 3rd Edition (1726) with variant readings, assembled by A. Koyré, I. B. Cohen, and A. Whitman. 2 vols. Cambridge: at the University Press.1972

NEWTON, I. **Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook**. ed., trans. J.E. McGuire and M. Tamny. Cambridge: Cambridge University Press.1983

NEWTON, I., **Mathematical Principles of Natural Philosophy**, trans. I. B. Cohen & A. Whitman. Berkeley: University of California Press.1999

WAFF, C., **Universal Gravitation and the Motion of the Moon's Apogee: the Establishment and Reception of Newton's Inverse-Square Law**, *1687-1749*. Ph.D. dissertation, The Johns Hopkins University.1975

WESTFALL, R. S., **The Construction of Modern Science: Mechanism and Mechanics.** New York: John Wiley and Sons.1971

WESTFALL, R. S., **Force in Newton's Physics: The Science of Dynamics in the Seventeenth Century**. London: Macdonald.1971a

VALLURI, Sree Ram. et al., Newton's Apsidal Precession Theorem and Eccentric Orbits. **Journal for the History of Astronomy** (Volume 28, n.1, p.13-27,(1997)

WESTFALL, R. S., Newton and the Fudge Factor, **Science**, v. CLXXIX, p.751-758,1973.

WILSON, C. A., From Kepler's Laws, So-called, To Universal Gravitation: Empirical Factors. **Archive for the History of Exact Sciences,** v.6, p.89-170,1970

WILSON, C.A. The Great Inequality of Jupiter and Saturn: from Kepler to Laplace. **Archive for History of Exact Sciences,** v.33, p.15-290,1985

WILSON, C.A D'Alembert versus Euler on the Recession of the Equinoxes and the Mechanics of Rigid Bodies. **Archive for the History of Exact Sciences,** v.37, p.233-273, 1987.

WILSON, C.A. Newton's Path to the *Principia*. In ***The Great Ideas Today***, p.178-229. Chicago: The University of Chicago Press.1988

WILSON, C.A., The Newtonian Achievement In Astronomy. In **The General History of Astronomy**, v.2, Planetary Astronomy from the Renaissance to the Rise of Astrophysics, Part A, Tycho Brahe to Newton. ed. R. Taton & C. Wilson, p.233-274. Cambridge: Cambridge University Press,1989

WILSON, C. A., Newton on the Moon's Variation and Apsidal Motion: the Need for a Newer 'New Analysis. Manuscript,1995.

WILSON, C. A., Redoing Newton's Experiment for Establishing The Proportionality of Mass and Weight. **The St. John's Review**v. XLV, n.2, p.64-73, 1999.

ASPECTOS DA TEOLOGIA NATURAL NA QUÍMICA DE WILLIAM PROUT

José Otavio Baldinato
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)
baldinato@ifsp.edu.br

Paulo Alves Porto
Universidade de São Paulo (USP)
palporto@iq.usp.br

Introdução

Ilustrar como a prática científica interage com fatores sociais, econômicos, políticos, culturais e religiosos é um dos benefícios que a história da ciência pode trazer ao ensino de ciências (OLIVEIRA; SILVA, 2011; PORTO, 2010; SEQUEIRA; LEITE, 1988). Apesar disso, são ainda pouco numerosos os trabalhos que aprofundam detalhes dessa última fonte de influências, a religiosidade, sobre o trabalho de cientistas em contextos específicos (LEAL; FORATO; BARCELLOS, 2016).

Neste trabalho, apresentamos a obra do médico e filósofo inglês William Prout (1785-1850) intitulada *Chemistry, Meteorology and the Function of Digestion considered with reference to Natural Theology* (*Química, Meteorologia e a função da Digestão consideradas com referência à Teologia Natural*)(1834) como exemplo das relações entre o discurso da química e questões religiosas na Inglaterra do início do século XIX.

A origem do livro remonta a uma herança, no valor de oito mil libras esterlinas, legada ao Presidente da *Royal Society* (*RS*) por ocasião da morte de Francis Henry Egerton (1756-1829), conde de *Bridgewater*. De acordo com o testamento, que foi bastante comentado nas notas obituárias dedicadas a Egerton, o presidente da *RS* assumiria a incumbência de repassar a referida soma ao autor ou aos autores por ele designados para a composição de trabalhos "Sobre o Poder, Sabedoria e Bondade de Deus manifestos na Criação" (ANÔNIMO, 1829, p.560). Tais obras deveriam ser ilustradas pela maior gama possível de argumentos, e algumas preferências do conde registradas em seu testamento incluíam: a variedade das criaturas pertencentes aos reinos animal, vegetal e mineral; a construção da mão humanae a conversão da matéria – da condição não viva para a viva – pelos efeitos da digestão.

O então presidente da *RS* era Davies Gilberte os registros da época contam que ele se aconselhou com representantes da Igreja e com os próprios testamenteiros do conde antes de se decidir pela repartição do valor entre vários autores (GILBERT, 1831).

O processo de escolha envolveu uma negociação difícil e cheia de controvérsias. Os requisitos para os potenciais autores envolviam: 1) reconhecimento da comunidade científica, sendo candidatos, preferencialmente, os membros da *RS*; 2) habilidade literária para escrever a um público educado mas não composto por especialistas; e 3) caráter devoto e ortodoxo em seu posicionamento religioso, assegurando que não escreveriam apenas em função do ganho financeiro envolvido (BROCK, 1966, p.173). Ao final, foram escolhidos sete membros da *RS* e um teólogo, ficando cada um deles responsável pela produção de um dos volumes da série que seria conhecida como *The Bridgewater Treatises*. O Quadro 1 apresenta os títulos e autores de cada volume. Todos os textos são hoje de domínio público e se encontram disponíveis em bases digitais de pesquisa.

Quadro 1 - Relação dos títulos, autores e datas de publicação dos *BridgewaterTreatises*.

Título do Tratado	**Autor**	**Ano**
On the Power, Wisdom and Goodness of God as Manifested in the Adaptation of External Nature to the Moral and Intellectual Constitution of Man	Thomas Chalmers Professor de Teologia na Universidade de Edimburgo	1833
On the Adaptation of the External Nature to the Physical Condition of Man	John Kidd Professor de Medicina na Universidade de Oxford	1833
Astronomy and General Physics considered with reference to Natural Theology	William Whewell Membro do *Trinity College*, Cambridge	1833
The Hand: it's Mechanism and Vital Endowments as evincing Design	Charles Bell Médico, Professor de Anatomia e Cirurgia	1833
On Animal and Vegetable Physiology	Peter Mark Roget Professor de Fisiologia na *Royal Institution*e Secretário da *RS*	1834
On Geology and Mineralogy	William Buckland Professor de Geologia na Universidade de Oxford	1836
On the History, Habits and Instincts of Animals	William Kirby Entomologista, Clérigo da Igreja Anglicana	1835
Chemistry, Meteorology and the Function of Digestion considered with reference to Natural Theology	William Prout Médico, Membro do *Royal College of Physicians*	1834

Embora caros, os tratados alcançaram grande circulação, registrando vendas da ordem de 60.000 exemplares entre as décadas de 1830 e 1850. De fato, o preço de cada volume era proibitivo às classes operárias e ia na contramão das publicações baratas que se tornaram amplamente difundidas no segundo quarto do século

(LIGHTMAN, 2007; TOPHAM, 1992, p.397-402)[57]. Assim, o alcance da coleção se deu, em grande parte, pela sua presença nas bibliotecas de Associações e Institutos dedicados à disseminação de saberes, tanto da filosofia natural quanto da teologia.

Questionando o uso dos tratados por grupos educacionais do período, como as Escolas Dominicais e os Institutos de Mecânica, Topham (1992) argumenta que o preço era compensado pela profundidade das abordagens. Assim, esses grupos valorizavam os volumes como tratados filosóficos acessíveis, que guardavam o mérito de serem assinados por autores de reconhecida competência em suas áreas, mostrando-se atualizados, mas sem se aprofundarem em questões muito técnicas ou específicas. Na leitura de Topham (1992, p.403-404), outra questão determinante foi o fato dos tratados serem considerados "seguros" no sentido de preservarem compromissos religiosos, políticos e sociais dessas comunidades.

Topham (1998) procedeu um estudo cuidadoso do circuito da comunicação dos *Bridgewater Treatises*, destacando que, apesar do preço, a série teve ampla circulação entre diversos grupos de leitores. Sobre os autores, afirma-se que eles não receberam uma encomenda suficientemente detalhada a ponto de tornar homogêneo o padrão das abordagens. Ainda assim, alguns aspectos comuns são perceptíveis, como o fato de nenhum deles ter

---

57 Os volumes de Whewell e Kidd eram os mais baratos da série, tendo suas primeiras edições vendidas ao preço final de 9 *shillings* e 6 *pence*. Já o tratado de geologia de Buckland, sob a justificativa das muitas e detalhadas ilustrações, custava 1 libra e 15 *shillings*. O texto de Prout era vendido por 15 *shillings*. No sistema monetário inglês da época, cada libra era dividida em vinte *shillings* e cada *shilling* em doze *pence*. Com o avanço das técnicas de impressão no segundo quarto do século, muitos editores investiram na ampliação do seu mercado pela redução do preço final das publicações. Enquanto livros seriados ao preço de 6 *shillings* eram acessíveis "aos leitores da classe média e a alguns dos artesãos mais prósperos", revistas semanais de 6 *pence* se tornaram bastante populares (LIGHTMAN, 2007, p.19).

dedicado seu tratado a uma exposição estrita da filosofia atrelada ao argumento do *design* na Natureza. Em vez disso, os textos se ocupam, prioritariamente, de apresentar os fundamentos de cada ramo da filosofia natural, valorizando ilustrações das instâncias em que o *design* se mostraria de forma mais evidente. As propostas também se aproximam na medida em que os autores as dirigem, claramente, para um público de não especialistas. Topham observa, ainda, que os autores planejaram seus textos pensando em alcançar diferentes níveis de leitura, apresentando as bases de suas áreas de investigação, mas também sugerindo rumos, além de novos dados e interpretações, aproveitando-se dos volumes para dar contribuições originais aos seus campos do conhecimento.

> [...] as ambiguidades inerentes aos *Bridgewater Treatises* são particularmente profundas: estas eram obras cujo gênero não poderia ser facilmente definido. Elas foram amplamente resenhadas tanto em periódicos religiosos quanto nos especializados, e foram lidas tanto por especialistas científicos quanto por leigos. No entanto, são precisamente essas ambiguidades que tornam os *Bridgewater Treatises* particularmente úteis para explorar o lugar da ciência na cultura mais ampla(TOPHAM, 1998, p.239).

A proposta inicial do presidente da *RS* para o tratado envolvendo a química tinha foco nos agentes imponderáveis e os possíveis autores seriam William Prout ou David Brewster (1781-1868). Historiadores que se debruçaram sobre os registros desse processo especulam que a escolha por Prout e a mudança no foco da obra se deveram às relações pessoais do autor, que era próximo de Gilbert e também de Roget – secretário da *RS* e autor do *Bridgewater Treatise* sobre fisiologia animal e vegetal –, além de seu reconhecido interesse pelo tema da digestão,

que fora explicitamente mencionado no testamento do conde de *Bridgewater* (BROCK, 1966, p.168-169; ROBSON, 1990, p.73). Para o estudo que apresentamos na sequência, foi considerada a primeira edição do tratado de Prout(1834).

William Prout e o oitavo Bridgewater Treatises

Prout participa da historiografia da química em função da hipótese que leva seu nome e que remete a uma suposta constituição comum de todos os elementos químicos, cujos pesos atômicos relativos seriam múltiplos do peso do hidrogênio (GLASSTONE, 1947). No entanto, sua atividade principal era a prática da medicina e, nesta área, tanto seus interesses quanto a trajetória que desenvolveu aproximam sua história às de outros médicos químicos do período, como foi o caso de Alexandre Marcet (COLEY, 1968)[58].

Prout veio de uma família humilde que vivia no condado de *Gloucestershire*, no interior da Inglaterra. Teve acesso à educação elementar até os treze anos e, no início da vida adulta, frequentou seminários ligados a duas Instituições religiosasque lhe proporcionaram a formação mínima necessária para o ingresso em cursos universitários, incluindo rudimentos de grego e latim (BROCK, 1965, p.102).

58 Alexandre Marcet (1770-1822) foi um médico e químico influente nas primeiras décadas do século XIX. Nascido em Genebra e radicado em Londres, manteve amizade com homens de ciência como os químicos H. Davy (1778-1829), W. Wollaston (1766-1828) e J. J. Berzelius (1779-1848), o botânico A. P. de Candolle (1778-1841) e o economista político T. Malthus (1766-1834). Na historiografia da ciência, Alexandre é mais conhecido em função do trabalho de sua esposa, Jane Marcet (1769-1858), que publicou obras de divulgação prestigiadas em campos como a química, fisiologia vegetal, linguagens e política econômica (BAHAR, 2001; DREIFUSS; SIGRIST, 2012; LINDEE, 1991; ROSENFELD, 2001).

Pouco mais de uma década depois de Alexandre Marcet, Prout também frequentou a Universidade de Edimburgo e, em seguida, se estabeleceu em Londres como médico e professor. Os dois chegaram a trabalhar juntos no *Guy's Hospital* por um curto período na década de 1810, e há registros da Instituição enaltecendo o trabalho de ambos que, junto a Wollaston e John Yelloly (1774-1842), avançaram o conhecimento médico com pesquisas sobre cálculos e depósitos urinários, aprimorando diagnósticos e tratamentos (BIRD, 1842).

A partir de 1813, Prout passou a atender os pacientes em seu próprio endereço, mas se manteve ativo como membro de sociedades filosóficas. Entre elas estavam a *Medico-Chirurgical Society*, o *Royal College of Physicians* e a *Royal Society*, que o elegeu, em 1819, mediante indicação escrita e assinada por Marcet, e co-assinada por sete outros membros da Sociedade (ANÔNIMO, 1850, p.16).

Os registros biográficos enfatizam que Prout era um madrugador, e que conduzia suas pesquisas experimentais pela manhã, antes de começar o atendimento dos seus pacientes (ANÔNIMO, 1850, p.17; BROCK, 1965, p.124). Além das análises urinárias, seu interesse por processos fisiológicos como a digestão e a respiração se desdobrou em pesquisas que incluíram: a quantificação do ácido carbônico emitido na respiração; a formação dos componentes do sangue a partir da digestão dos alimentos; a identificação do ácido muriático como responsável pela ação do suco gástrico e a análise da composição de diversos compostos organizados, como açúcares, ácidos vegetais e a ureia (PROUT, 1827). Prout também se dedicou a estudos meteorológicos, realizando medições da gravidade específica do ar e investindo significativamente na construção de equipamentos, como um barômetro que serviu de modelo ao que seria instalado na *Royal Society* sob sua supervisão. Para um relato detalhado dessas atividades, remetemos à biografia compilada por Brock (1965).

Em relação à sua hipótese unitária, os resultados que formalizam essa contribuição foram originalmente publicados sob anonimato, em dois artigos do periódico *Annals of Philosophy*, editado por Thomas Thomson (1773-1852). As conclusões de Prout se fundamentavam na comparação entre os pesos atômicos relativos determinados para vários corpos elementares e suas respectivas gravidades específicas no estado gasoso. Prout tinha suas análises químicas orientadas pela doutrina das combinações volumétricas de Gay-Lussac e, no primeiro artigo, chegou a afirmar que, caso suas conclusões fossem verificadas por outros autores, lançar-se-ia "uma nova e interessante luz sobre toda a ciência da química" (PROUT, 1815, p.321).

O artigo se iniciava sugerindo que o oxigênio e o azoto (nitrogênio), no ar atmosférico, deveriam ser entendidos como constituintes de um composto químico, pois esta seria a única maneira de justificar sua distribuição em proporção fixa em todos os lugares ao redor do globo terrestre. Assumindo a gravidade específica do ar atmosférico como um padrão de valor unitário, Prout propôs um método para a determinação da gravidade específica do gás hidrogênio que não envolvia a sua medição direta, mas um cálculo derivado da sua presença em compostos como a amônia, por exemplo, em que este gás se combina com azoto na proporção de 3:1 em volume. Tomando emprestadas as medidas obtidas por Davy, Biot e outros contemporâneos para vários compostos, Prout determinou o valor de 0,0694 para a gravidade específica do gás hidrogênio, e notou que o mesmo método, aplicado a outras substâncias elementares, gerava resultados que eram (com razoáveis aproximações) múltiplos inteiros desse valor (PROUT, 1815)[59].

---

59 Os valores apresentados para as gravidades específicas, em relação ao do gás hidrogênio, foram: carbono, 12; nitrogênio, 14; fósforo, 14; oxigênio, 16; enxofre, 16; cálcio, 20; sódio, 24; ferro, 28; zinco, 32; cloro, 36; potássio, 40; bário, 70 e iodo, 124. Prout (1815) chamou a atenção para o fato de todos os valores

Esses cálculos, junto a uma série de tabelas que organizavam seus resultados, foram publicados na edição de novembro de 1815 do periódico de Thomson. Já em fevereiro do ano seguinte, uma errata corrigiria uma das tabelas e acrescentaria ao artigo a conclusão que ficou conhecida como hipótese de Prout. Chamando a atenção para os valores apresentados, Prout comparou o hidrogênio com a *hylé*[60] dos filósofos gregos, sugerindo que todos os outros elementos poderiam ser formados por diferentes porções combinadas desta matéria primeira, a *proto-hylé*, ou hidrogênio (PROUT, 1816, p.113). A autoria da hipótese foi revelada ainda no ano de 1816, pelo editor do periódico (THOMSON, 1816, p.343).

Ao leitor com formação em química, é interessante ressaltar como os argumentos usados por Prout nesses artigos pressupunham teorias que hoje nos são familiares, mas que à época se encontravam longe de serem disseminadas entre os filósofos químicos. Entre elas destacamos a ideia de que volumes iguais de quaisquer gases, em condições definidas, encerram em si quantidades equivalentes de partículas, e também a aceitação de que substâncias simples como os gases hidrogênio e nitrogênio poderiam ser formadas por mais de um átomo, constituindo o que hoje chamamos de moléculas. A repercussão da hipótese é detalhada por Glasstone (1947), que acompanhou as opiniões de vários químicos sobre o tema ao longo do século XIX e início do século XX. Em particular, cabe ainda destacar que o argumento de Prout influenciou os trabalhos de muitos autores que se dedicaram às tentativas de classificação dos elementos químicos, incluindo os

---

serem múltiplos de dois, sugerindo uma composição comum a todos os corpos elementares.

60 *Hylé* é o termo grego para "matéria". Em Aristóteles, a proto-hylé é apresentada como um tipo de matéria primordial, da qual seriam constituídos os elementos fogo, terra, água e ar (AINSWORTH, 2016).

sistemas periódicos de J. Lothar Meyer (1830-1895) e de Dmitri Mendeleev (1834-1907) (GORDIN, 2012)[61].

De acordo com Brock (1965, p.102), as pesquisas perderam espaço na rotina de Prout na década de 1830, e após a publicação do seu *Bridgewater Treatise* ele teria passado a se dedicar essencialmente à prática da medicina e à revisão dos seus livros.

Os registros encontrados fornecem poucas informações sobre a vida pessoal de Prout e quase nada sobre as suas inclinações religiosas. Além de ter frequentado seminários sob a tutela de homens da igreja antes de ingressar na faculdade de medicina, sabe-se que ele se casou com Agnes Adam (1793-1863) em 1814, e que um dos seus sete filhos, Thomas Jones Prout (1823-1909), se tornou clérigo e professor de culturas clássicas na *Christ Church*, pertencente à Universidade de Oxford. Assim, é difícil avaliar o quanto Prout cumpria com o terceiro dos requisitos colocados aos autores dos *Bridgewater Treatises*, isto é, o de manter caráter devoto e ortodoxo, que não lançasse dúvidas sobre suas intenções ao publicar um livro com enfoque teológico. Como veremos na sequência, ao detalhar o conteúdo do texto, são perceptíveis algumas inconsistências no argumento teológico apresentado por Prout, mas é inegável que uma visão vitalista se coloca como pano de fundo em toda a obra.

A química sob a ótica da teologia natural

O *Bridgewater Treatise* de Prout foi dividido em três partes, abordando a química, a meteorologia e a digestão em tomos separados, com cerca de 180 páginas cada um. O volume é dedicado a

61 Na década de 1870, Mendeleev tomava a hipótese de Prout como uma especulação refutada pela experiência ligada à quantificação precisa dos pesos atômicos. Ainda assim, no livro didático em que sistematizou sua tabela periódica, o autor se refere à hipótese como algo “muitíssimo importante, e que merece plenamente a atenção que tem sido dedicada a ela” (MENDELEEV, 1891, p.406).

Davies Gilbert, que presidiu a *RS* entre 1827 e 1830 e que encaminhou a escolha dos autores para a série de tratados.

Prout sintetizou na introdução o que entendia como o argumento principal da teologia natural, a saber, "que o *design*, ou a adaptação de meios para um fim, existe na Natureza" (PROUT, 1834, p. XXV). Tal argumento é apresentado na forma de um exemplo simples, que observa providência no fato dos animais serem perfeitamente adaptados às condições do ambiente em que vivem.

> Animais que vivem em climas frios foram munidos de uma cobertura de pele. O homem em tais climas se cobre com esta pele. Em ambos os casos, independente de qual tenha sido o fim ou o objetivo, ninguém pode negar que ao menos o efeito é precisamente o mesmo: o animal e o homem são igualmente protegidos do frio. Mas como o animal não cobriu a si mesmo, mas deve ter sido coberto por um outro; segue-se que, quem quer que tenha vestido o animal deve saber aquilo que o homem sabe, e deve ter raciocinado como o homem [...].
>
> O homem que se cobre com pele para se proteger do frio executa um ato direcionado a um certo fim; um ato de *design*. Assim, aquele que, direta ou indiretamente, fez com que o animal fosse revestido de pele para se proteger do frio deve ter, da mesma forma, executado um ato de *design*.
>
> Mas, dadas as circunstâncias, deve-se admitir que aquele que vestiu o animal tenha sido, também, o Criador do animal; e por extensão do argumento; o Criador do próprio homem – do universo. Além disso, o raciocínio que o Criador demonstrou ao vestir o animal, Ele concedeu espontaneamente ao homem, que

> é, assim, capaz de reconhecer o *design* do seu Criador(PROUT, 1834, p. XXV-XXVI, itálicos no original).

De acordo com as explicações do autor, o argumento do *design* abrangeria ao menos três classes de objetos, sendo elas separadas pela capacidade do homem de identificar, pela razão, os meios e os fins envolvidos na obra do Criador.

A primeira classe se daria nas ocasiões em que a razão do homem se mostra capaz de acompanhar plenamente a razão evidenciada por Deus, isto é, quando são claros quais meios foram mobilizados para quais fins. Este é o caso da pele dos animais, que os protege do frio no exemplo inicial do autor, mas também estariam nesta classe vários fenômenos regidos pela noção de quantidade numérica, como os estudados pelo campo da mecânica.

A segunda classe de objetos incluiria os fenômenos dos quais o homem pode perceber apenas os estados inicial e final, sem enxergar uma descrição dos mecanismos ou dos meios pelos quais se alcançam aqueles fins. Segundo esse discurso preliminar de Prout, a esta classe pertenceriam todos os fenômenos estudados pela química.

Já a terceira classe seria aquela na qual tanto os meios de operação quanto os fins almejados pelo Criador escapam à razão do homem, permitindo-se, então, apenas a inferência de um necessário *design*. Prout cita como exemplos dessa categoria a existência das estrelas fixas, dos cometas e da vida organizada (PROUT, 1834, p. XXVII).

Todas essas considerações sobre o argumento da teologia natural são rapidamente apresentadas na introdução do volume e, a partir desse ponto, o autor frisa que a intenção do tratado seria apenas explicitar várias evidências de *design* perceptíveis nos objetos da criação, "deduzindo, a partir delas, a existência e os atributos do Criador" (PROUT, 1834, p. XXVIII).

Essa perspectiva de apresentar uma coleção de exemplos independentes enfatiza o caráter acumulativo do argumento do *design*. De acordo com William Paley (1802/2006, p.45-46), que foi autor de uma das principais obras de referência sobre teologia natural publicadas no período, a força do argumento não admitiria paralelo com uma corrente, que se quebra pela fraqueza de um único elo, mas com uma corda trançada por muitos fios individuais. Cada exemplo de *design* encontrado na Natureza corresponderia a um fio e, assim, se algum deles se mostra fraco e sucumbe à crítica, este pode ser abandonado sem comprometer a integridade do argumento.

Paley é referenciado por Prout, em vários momentos, como a principal fonte para o leitor interessado em se apropriar dos fundamentos desse argumento teológico que, em resumo, buscava demonstrar a existência de Deus por meio da investigação filosófica da Natureza, sem recorrer a qualquer forma de revelação. No entanto, é importante ressaltar que a teologia natural encontrada nos *Bridgewater Treatises* não é uma simples extensão daquela que fora defendida por Paley no início do século. O discurso teológico dos tratados trazia características próprias e que variavam de autor para autor (TOPHAM, 1993). Prout se apoia em argumentos lançados por Paley, mas não tem a intenção de provar a existência de Deus como resultado da investigação química. Diferente disso, ele parte da premissa de que todo o mundo natural é obra de um Criador infinitamente sábio e benevolentee se propõe apenas a demarcar reflexos aparentes desses atributos[62]. Essa característica

62 Alguns autores propuseram rótulos como "teologias da natureza" (BROOKE, 1974, p.9) ou "discursos de *design*" (TOPHAM, 2004, p.38) para diferenciar esta linha de argumentação (que assume um compromisso prévio com a existência de Deus, apenas apresentando os fenômenos naturais como reflexos da sua onipotência) daquela que corresponderia propriamente à teologia natural (quando se pretende comprovar a existência de Deus por meio da investigação filosófica, sem recorrer à revelação). O texto de Prout se enquadraria, portanto,

da série de tratados motivou críticas em algumas das resenhas publicadas na época.

> Pelo que vimos dos *Bridgewater Treatises*, devemos dizer que eles são mais apropriados para confirmar a fé do que para instituí-la. O fato é que Paley deixou o argumento principal da religião natural numa condição pouco menos que perfeita. Se o *design* prova a existência de Deus, Paley provou a existência de *design*(ANÔNIMO, 1836, p.386).

O primeiro tomo do livro traz um conjunto inicial de capítulos sobre as leis gerais da Natureza e os agentes primeiros, como a eletricidade, a luz e o calor. Na sequência, o estudo dos corpos materiais segue a lógica que vai do mais simples ao mais complexo. Prout divide as substâncias elementares em grupos, comentando as propriedades conhecidas de cada elemento, suas fontes naturais, abundância e usos mais comuns. Em seguida, trata das leis de combinação valorizando uma versão adaptada da teoria atômica da Dalton, e finaliza com uma extensa classificação das substâncias compostas, incluindo ácidos, bases e sais.

A leitura completa do tratado revela uma rotina que se repete em vários momentos. Ao encerrar um capítulo contendo muitos argumentos químicos, Prout resume e lista os pontos principais da teoria explicada antes de apresentar sua leitura teológica derivada daquelas ideias. Explicitamente, o autor admite que o argumento de conexão entre a química e a teologia deveria ser a parte mais atrativa do texto, e antecipa que muitos leitores pulariam as partes do tratado dedicadas exclusivamente à química, talvez por já

---

nesses rótulos. No entanto, optamos por manter o uso da expressão teologia natural por ser este o termo empregado pelo próprio Prout no contexto estudado.

conhecerem seus princípios, ou mesmo por não apresentarem interesse nesse aprofundamento (PROUT, 1834, p.82-122).

A narrativa se inicia com considerações gerais sobre a posição ocupada pela química enquanto ciência e sobre a sua aplicação ao argumento do *design*. Nessas observações preliminares, o autor admite dois tipos de conhecimento humano, um do que "deve ser" e outro do que "simplesmente é" (PROUT, 1834, p.2). O primeiro se fundaria na razão, remetendo às questões para as quais o ser humano é capaz de fomentar explicações consideradas livres de dúvidas. As relações de quantidade da química estariam nesta classe. Já o segundo tipo de conhecimento teria contorno mais descritivo do que propriamente explicativo, sendo, portanto, pautado pela experiência e não pela razão. Estariam nessa classe a grande maioria dos saberes típicos da química. Em termos práticos, essa divisão admitia que, em química, pode-se prever quanto será formado de um certo produto novo, mas não qual será a sua cor ou cheiro. As relações de quantidade estariam plenamente sob o domínio da razão, mas o conhecimento sobre as qualidades secundárias dos corpos se daria apenas pela experiência.

Descrevendo os experimentos como situações controladas de observação, nas quais algumas causas e agentes conhecidos são manipulados de modo a tornar perceptíveis seus efeitos, Prout destaca que, nas áreas mais avançadas do conhecimento, obtêm-se informações tão seguras sobre a matéria, sua agregação e movimento, que podem se fundar certezas apoiadas nas relações de quantidade. A incerteza surgiria quando o conhecimento derivado dos objetos é apenas sensível e não quantificável. Esta fragilidade estaria ligada à nossa ignorância sobre o funcionamento dos sentidos humanos.

Prout alega que o ouvir e o ver já haviam sido explicados como dependentes de uma forma de movimento, vibracional ou ondulatório, que entra em contato com o ouvido ou com os olhos – mesmo não se sabendo o efeito fisiológico a partir daí. Já o

paladar e o olfato são tratados como um mistério, uma vez que dispensavam o intermediário (que vibra) pelo contato direto do corpo produtor da sensação com o órgão que sente. As relações de quantidade não pareciam imediatamente aplicáveis aí, e isso seria um problema inerente à química (PROUT, 1834, p.7-8).

> De fato, a química tanto é criatura da efetiva pesquisa experimental, que mesmo as suas verdades mais simples foram raramente antecipadas *a priori*. Por exemplo, milênios de observação e experiência não mostraram à humanidade que a água é composta de dois princípios gasosos elementares, muito menos as proporções nas quais tais princípios se combinam para formar água. Mais ainda, mesmo que o fato esteja hoje estabelecido sobre as mais claras evidências, somos incapazes de explicar o seu porquê, ou mesmo de entender a natureza da união ou seu resultado (PROUT, 1834, p.8-9).

Em resumo, a química de Prout seria uma ciência fundada sobre a experiência, mas ainda que os mecanismos dos seus objetos de estudo fossem obscuros, sinais de *design* seriam perceptíveis nos seus resultados. Isso colocava os objetos da química na segunda classe do argumento de *design*. Prout valoriza essa conclusão ao sugerir que Deus limitaria muito seu poder ao operar sobre a criação por meios mecânicos, dada a simplicidade e até certo grau de obviedade desta via. Sua atuação pareceria muito mais livre e maravilhosa quando se fazia por vias químicas, pois, sendo essas mais misteriosas, despertariam maior admiração (PROUT, 1834, p.11).

Depois dessas considerações iniciais, o texto apresenta uma sequência de capítulos tratando das leis gerais que teriam sido criadas por Deus e pelas quais ele atuaria sobre a criação. Neste

ponto, Prout apoia toda a narrativa num argumento apresentado por Paley (1802/2006, p.27), de que Deus, ao definir um conjunto fundamental de leis naturais, estabeleceu limites para a sua própria capacidade e operou toda a criação obedecendo a esses limites.

De acordo com Paley, as leis de inércia, comunicação do movimento, reação, refração e reflexão da luz, constituição dos fluidos elásticos, propagação do som, magnetismo, eletricidade e outras ainda desconhecidas, teriam sido estabelecidas antes da criação das espécies vivas (1802/2006). Assim, todas as formas de vida foram criadas em observância a essas leis e tiveram suas funções projetadas para que pudessem ser executadas sem desrespeitar as propriedades daquilo que foi criado primeiro. A complexidade dos mecanismos necessários para que se formasse, por exemplo, o sentido da visão, serviria para nos despertar a admiração pela infinita capacidade do Criador ao lidar com as leis que ele mesmo estabeleceu. Para Paley, se tudo fosse simples e imediato, não se instigaria esse senso de contemplação. Isso não sugere que o Criador não tivesse um plano completo da sua obra desde o início e que foi adaptando cada nova ideia que lhe surgia. A criação das leis e corpos primeiros, como o ar e a água, já previa o seu uso por seres viventes que viriam depois. Prova disso seriam as proporções perfeitas com que Deus preencheu o mundo desses princípios vitais. Prout compartilha dessa visão e descreve algumas leis nos primeiros capítulos do livro, começando pela inércia e pela atração gravitacional.

Ao chegar à abordagem dos fenômenos químicos, o autor relembra que estes nos permitiriam observar com clareza apenas as suas condições inicial e final. Os mecanismos e etapas da mudança química se processariam por meios que o filósofo poderia apenas especular. Ainda assim, Prout julga adequado teorizar sobre as interações que deveriam ocorrer entre os constituintes mínimos da matéria e se alonga nessa explicação.

Para Prout, não havia dúvidas de que a matéria neste mundo era composta de partículas mínimas que não podiam ser divididas ou alteradas. A possibilidade de compressão mecânica dos corpos seria uma evidência da existência de interstícios entre essas partículas. Ele retira um exemplo de cada reino para ilustrar o quão diminutas podem ser as formas organizadas em minerais, fungos ou "animálculos" (PROUT, 1834, p.24). Daí se deduziriam as pequeníssimas dimensões e a quase infinita quantidade de partículas últimas que deveriam compor esses corpos.

Utilizando-se de uma série de desenhos esquemáticos, o autor tenta explicar a agregação dos corpos sólidos com base em polos atrativos e repulsivos das partículas individuaisque dirigiriam sua interação com as vizinhas. Cada partícula é representada como uma esfera dotada de forças axiais, conforme ilustra a Figura 1. Essas forças são divididas por Prout (1834, p.44) entre "polarização química" e "polarização coesiva", e correspondem, respectivamente, ao que outros autores da época chamavam de forças de combinação e de coesão (MARCET, 1832; PARKES, 1826). O primeiro tipo de polarização responderia pela atração entre partículas de naturezas diferentes, como hidrogênio e oxigênio formando a água, enquanto o segundo tipo se restringiria à atração de partículas iguais, orientando a agregação de várias partículas de água na formação de um cubo de gelo, por exemplo. Prout afirma que essas forças seriam de natureza análoga às forças elétrica e magnética, adotando a versão da teoria que associava duas naturezas possíveis (positiva e negativa/norte e sul) a cada uma dessas forças.

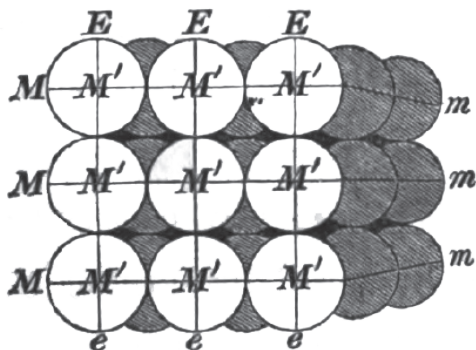



Figura 1. Representação da agregação de partículas num sólido pela atração entre eixos polarizantes $\overline{Ee}$ (na vertical), $\overline{Mm}$ (na horizontal) e $\overline{M'm'}$ (perpendicular ao plano do papel) (PROUT, 1834, p.32).

Prout questiona qual seria o resultado do equilíbrio dado pela junção das duas naturezas elétricas ou das duas naturezas magnéticas, sugerindo que tais fenômenos dariam origem ao calor. Embora, neste primeiro momento, o autor se recuse a dar como certa essa interpretação, ela é claramente adotada em outras partes do texto.

Ao falar sobre a causa material da sensação de calor, Prout apresenta a teoria do fluido calórico e também a do movimento vibracionalque dispensava este agente imponderável. No entanto, essas duas ideias são rapidamente descartadas pelo autor, que assume uma terceira corrente para interpretar os fenômenos ligados à conversão de corpos sólidos em líquidos ou gases. Segundo ele, o calor e também a luz deveriam ser entendidos como substâncias semelhantes à matéria ponderável em todas as suas características, sendo compostas por moléculas submetidas às mesmas leis que se aplicam à matéria em geral. Essa noção se apoiava na hipótese de que o calor poderia ser um composto formado pela junção das eletricidades positiva e negativa. Por extensão desse raciocínio, a possibilidade de decomposição do calor em seus componentes

elétricos é usada por Prout para explicar o calor latente envolvido nos processos de fusão, justificando o desaparecimento do calor absorvido por um sólido que passa ao estado líquido sem registrar variação de temperatura.

Nesses processos, Prout sugere que as moléculas de calor se arranjariam como uma atmosfera ao redor das partículas do corpo aquecido (Figura 2A). Tal recobrimento já responderia pela redução da sua atração mútua, permitindo um pequeno afastamento que justificava a expansão volumétrica do material. No entanto, outra porção do calor adicionado sofreria decomposição, ampliando a intensidade dos eixos de polarização elétrica das partículas. Essa alteração do componente elétrico das partículas promoveria a sua rotação em torno do eixo de polarização magnética (Figura 2B), levando a uma nova condição de equilíbrio na qual as partículas vizinhas se manteriam próximas, mas com maior liberdade de movimentação, compondo um corpo fluido, ou líquido.

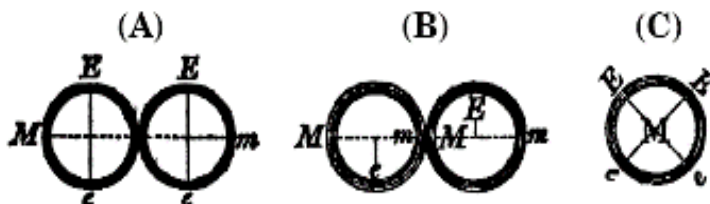



Figura 2. Representação da ação do calor sobre as partículas de um sólido que se converte em líquido (PROUT, 1834, p.55).

Percebe-se, pela interpretação da Figura 2C, que o eixo de polarização $\overline{Ee}$ alcançaria uma nova condição de equilíbrio, dando estabilidade ao líquido após um movimento de rotação que coloca em ângulo reto os eixos de partículas vizinhas. Prout amplia esse argumento para afirmar que, na ebulição, a decomposição de grandes quantidades de calor faria com que esses eixos de polarização

se colocassem em posição paralela, de modo a maximizar as forças auto-repulsivas entre partículas vizinhas, dando origem a um gás. Neste trecho das explicações, Prout enuncia claramente o que viria a ser conhecido posteriormente como hipótese de Avogadro, afirmando que "todos os corpos gasosos, sob a mesma pressão e temperatura, contêm igual número de moléculas auto-repulsivas" (PROUT, 1834, p.62). De acordo com o autor, essa ideia era necessária para que se pudesse explicar a expansão volumétrica comum entre os gases mediante adições controladas de calor. Prout esclarece, numa nota de rodapé, que já adotava essa interpretação muito antes de tomar ciência dos ensaios publicados por Avogadro, Ampère e Dumas sobre o assunto.

O texto segue detalhando propriedades do calor e seu movimento por irradiação, condução e convecção, sendo este último termo uma proposição original de Prout para se referir ao calor que é conduzido pela movimentação das partículas de um material aquecido, seja líquido ou gás, sempre de baixo para cima (PROUT, 1834, p.65).

Passando do calor à luz, Prout descreve as propriedades conhecidas como reflexão, refração, polarização e decomposição no espectro de cores. O último capítulo deste bloco lista as fontes comuns de luz e calor, incluindo o sol, a eletricidade, a ação mecânica, mudanças de condição física ou química dos corpos, além do que o autor chama de "ação orgânica", referindo-se ao calor produzido por processos químicos internos dos animais (PROUT, 1834, p.80).

No resumo que precede seu argumento teológico, Prout lembra que este primeiro bloco de capítulos tratava dos agentes e das leis gerais da Natureza como princípios de ação aos quais o Criador teria se limitado em todos os atos posteriores da sua obra. Em particular, as leis de propagação da luz e do calor seriam fundamentais na configuração dos componentes do clima na Terra, configurando um prólogo necessário ao tomo do livro sobre a

meteorologia (PROUT, 1834, p.82). Sobre a matéria, Prout destaca em seu resumo que ela é constituída por moléculas esferoidais, individualmente submetidas a forças polarizantes análogas às forças elétrica e magnética. Essas forças atuariam tanto sobre a matéria ponderável quanto a imponderável, dirigindo a interação das partículas de modo a justificar sua agregação e os diferentes estados físicos dos materiais. A partir desses argumentos, Prout deduz como livre de controvérsia que: 1) a matéria não mantém desde sempre a sua organização atual; 2) ela não chegaria a existir na condição atual por acaso; e 3) sua configuração atual reflete o trabalho de um Ser inteligente, que atua de modo intencional (PROUT, 1834, p.86).

Como justificativas para suas conclusões, Prout argumenta que a composição molecular da matéria traz como característica essencial a capacidade de movimento, entendido aqui com sentido de mudança ou transformação. Essa capacidade sensível eliminava a possibilidade de que a matéria fosse eterna, pois, nas palavras do autor, "a existência eterna (passiva) necessariamente implica a incapacidade de mudança" (PROUT, 1834, p.87).

Prout toma como absurda a possibilidade de que o acaso pudesse produzir qualquer corpo material cuja constituição se dê pela junção de inúmeras partículas moleculares idênticas entre si, pois o acaso levaria a resultados aleatórios e não repetitivos.

> Não é fato que tomamos como objeto de admiração quando duas ou três coisas, por acaso, se mostram semelhantes, como dois ou três rostos humanos, por exemplo? Não deveríamos tomar por louco alguém que atribui ao acaso a uniformidade das manobras de um regimento de soldados? (PROUT, 1834, p.88).

Pela linha de raciocínio do autor, infere-se inteligência pelo ajuste dos processos aos fins a que se destinam. Uma composição

molecular submetida à polarização química (de combinação) e coesiva (de agregação) seria, dentre todas as possíveis, a forma mais adequada para permitir a ocorrência dos fenômenos naturais com os quais estamos habituados. Tal percepção leva o autor a deduzir, em tom seguro, a necessidade de um ser onisciente e anterior ao tempoque pudesse criar a matéria e aplicar sobre ela uma ordem regulada por leis. No discurso de Prout, a existência de Deus é uma conclusão necessária e naturalmente derivada do estudo sobre o comportamento químico dos corpos naturais.

Seguindo sua abordagem sobre a química, Prout trata dos corpos elementares e enaltece a noção de que, embora a quantidade de moléculas seja extraordinária, todas elas se formam a partir de poucos elementos. O texto traz uma tabela com 54 corpos simples, deixando de fora a luz e o calórico.

O primeiro grupo compreende os elementos que sustentam a combustão: oxigênio, cloro, bromo, iodo e flúor. Estes princípios são destacados pela sua notável tendência de se combinarem entre si e também com outros elementos. Ao detalhar algumas propriedades específicas, Prout faz considerações sobre a economia da Natureza e reconhece a ordem vigente das coisas como a realização dos desígnios do Criador. Por exemplo, depois de mencionar que o oxigênio tipicamente se combina mediante liberação de calor e luz no fenômeno da combustão, o autor afirma que, antes da existência dos animais, o mundo já havia sido criado com oxigênio em sua atmosfera. Deus teria adaptado suas criações posteriores com um aparelho respiratório adequado às propriedades e ao comportamento químico do gás já existente.

Prout toma como um fato que a condição atual do mundo seria a ideal e a mais perfeita, tal qual fora planejada pelo Criador. Assim, muitos argumentos parecem apenas observar sabedoria ao notar que as coisas são como são. O cloro, por exemplo, é apresentado como um elemento menos abundante e talvez menos importante que o oxigênio. No entanto, ele teria alguma relevância

para os seres vivos, pois participava da composição do sal marinho. Se este princípio fosse encontrado isolado, como o oxigênio, na forma gasosa, ele seria um veneno, então Deus demonstra sua sabedoria e benevolência ao fazê-lo reativo, de modo que apareça prioritariamente na forma combinada, no sal, evitando seus efeitos nocivos em favor da vida (PROUT, 1834, p.98-99).

Seguindo a mesma lógica, Prout comemora que a distribuição e a abundância relativa dos elementos sejam perfeitas, sem excessos de algum princípio deletério ou a falta de outro essencial. Para a formação da água, de vital importância, é necessária maior medida em massa de oxigênio do que de hidrogênioe assim estes princípios foram distribuídos no mundo de maneira balanceada (PROUT, 1834, p.102).

O segundo grupo engloba os elementos combustíveis: hidrogênio, carbono, azoto, boro, silício, fósforo, enxofre e selênio. O autor traz rápidas descrições de cada elemento, abordando alguns deles em conjunto. Os comentários mais frequentes envolvem um registro das condições e dos locais em que cada elemento é naturalmente encontrado, e se participa de compostos necessários ou prejudiciais à vida.

Ao falar do carbono, Prout menciona a constante combinação deste princípio com o oxigênio, formando o deletério ácido carbônico. Logo em seguida ressalta que a Natureza, por meio de algum mecanismo compensatório, retira do ar esse ácido na mesma medida em que ele é produzido. Do azoto são ressaltadas algumas qualidades negativas. Não é reativo, nem combustível e nem sustenta a combustão. Não é ácido e nem alcalino. Não apresenta cheiro ou gosto. Todavia, Prout destaca que, quando esse princípio se combina em condições especiais, forma compostos vigorosos como a *aquafortis*, a amônia e o ácido prússico. O azoto garantiria neutralidade à atmosfera, de tal modo que esta não apresenta uma predominância ácida ou alcalina, nem de qualquer cheiro ou cor.

Em seguida, apresenta-se o grupo dos metais imperfeitos ou metaloides, incluindo arsênio, antimônio e outros oito elementose uma sequência de parágrafos curtos trata das bases metálicas e dos vários metais que completam a tabela. Eventualmente, um elemento recebe maior atenção em função da presença dos seus compostos nos seres vivos. Este é o caso do cálcio que, pela formação da cal, teria óbvia importância na economia animal, sendo reconhecido como um dos poucos minerais que fazem parte de estruturas animais organizadas. Combinado ao fósforo e ao oxigênio, o cálcio constituiria a base dos ossos, enquanto que ligado ao carbono e ao oxigênio daria origem a conchas e cascos de diversas espécies.

> Assim, as propriedades da cal fornecem outra admirável instância de adaptação para um propósito particular. Todos os compostos derivados da potassa e da soda são bastante solúveis em água, e são, portanto, limitados aos fluidos dos animais, onde sua presença é indispensável. Mas, para a existência de animais mais perfeitos, era necessário um esqueleto ou estrutura sólida, e tal não poderia ser formado a partir das solúveis soda ou potassa. Fazia-se necessária a introdução de outra substância mineral, imbuída das propriedades requeridas. A cal, tendo alguns de seus compostos sólidos e outros fluidos, é admiravelmente adaptada a este propósito, e assim foi escolhida (PROUT, 1834, p.112-113).

Nota-se que o autor não tem a intenção de explicar os processos de obtenção de cada elemento, tampouco as proporções ou condições específicas das suas combinações. Sua atenção é estritamente voltada à valorização das instâncias em que se pode perceber algum *design*, revelando nos compostos e processos químicos os meios pelos quais seriam concretizados os planos do Criador.

Sobre a obtenção do ferro, tão fundamental na consolidação dos modos de vida praticados por sua sociedade, Prout se limita a afirmar que "só pode ser obtido puro mediante um processo elaborado" (1834, p.116). Em contrapartida, o autor se alonga ao reconhecer que o ferro tinha tantas utilidades que deveria ser considerado

> não apenas como um artigo evidentemente planejado para o benefício do homem, mas como o instrumento pelo qual ele deveria conquistar e governar o mundo; assumindo assim o seu posto no lugar que lhe era evidentemente pretendido, o ápice da criação (PROUT, 1834, p.117).

As ênfases aplicadas por Prout sugerem que ele tomava a história do homem e seu domínio sobre os materiais como a realização dos desígnios de Deus. Então, se o homem fez suas ferramentas de ferro, é porque este elemento foi especificamente projetado para este fim. Isso gerava complicações para interpretar, por exemplo, o porquê da existência de elementos com propriedades venenosas, como são as do chumbo ou do arsênio. Reconhecendo essa dificuldade, Prout recorre a um argumento que fora utilizado por Paley (1802/2006), justificando a existência desses corpos deletérios como criações intermediárias ou subprodutos, reconhecidos por Deus como necessários ao alcance de um bem maior, que seria a formação dos compostos finais, úteis ou essenciais à vida (PROUT, 1834, p.168).

Passando da abordagem dos elementos para as leis que regem a sua combinação, Prout reconhece que a quantidade e a variedade de compostos era tão grande que, dada a aparente incompatibilidade dos corpos simples com a presente ordem do mundo, justificava-se pensar que seriam eles, os compostos, que o Criador teria em mente como os instrumentos da realização do

seu projeto. Nessa perspectiva, as substâncias simples teriam sido criadas apenas como um meio para a realização final dos compostos, de modo que não fossem desrespeitadas as regras e limites originalmente impostos pelo próprio Criador sob a forma das leis naturais (PROUT, 1834, p.141).

As leis de combinação química descritas por Prout basicamente retomam as interações entre eixos polarizantes descritos inicialmente para explicar os estados de agregação. Prout apresenta uma leitura da teoria atômica de Dalton, mas recorre também às medidas volumétricas na interpretação das combinações químicas no estado gasoso. Como resultado, admite que a teoria corpuscular apresentada em seu texto não representava um consenso estabelecido entre os filósofos do período (PROUT, 1834, p.129). Entre suas peculiaridades, é interessante notar como a aceitação da hipótese de Avogadro conduz os argumentos de Prout à conclusão de que as moléculas de corpos simples, como os gases oxigênio, hidrogênio e cloro, deveriam ser duplas, sendo formadas por submoléculas. Para explicar as relações volumétricas entre produtos e reagentes em processos, Prout conclui, por exemplo, que as moléculas de água seriam formadas por estruturas contendo nove submoléculas, sendo três de oxigênio e seis de hidrogênio (PROUT, 1834, p.125-126).

A abordagem oferecida para os corpos compostos é rápida e essencialmente classificatória. Os compostos são divididos entre primários e secundários, de acordo com o caráter dos princípios envolvidos na sua formação. Os compostos secundários abrangeriam os sais, formados pela combinação de radicais advindos de um ácido e um álcalis. Já os primários incluiriam todos esses ácidos e álcalis, mais alguns compostos neutros como água, álcool, éter, óleos fixos e voláteis, e betume.

De modo geral, nota-se que a apresentação da química promovida por Prout tem foco na simples caracterização dos princípios elementares e das classes de compostos. Quando se

propõe a descrever transformações, como a precipitação dada pela mistura de nitrato de prata e sal marinho, o autor o faz apenas para ressaltar o quão diminutas são as partículas últimas que compõem os corpos da matéria (PROUT, 1834, p.171).

O mesmo se percebe em relação aos mecanismos de síntese e decomposição, que eram tratados por outros autores da época como vias essenciais à produção do conhecimento químico, mas que não têm o mesmo destaque na abordagem de Prout (BALDINATO, 2016). Entendemos que isso apenas reflete que esse autor não tinha a intenção de explicar como os químicos produziam suas verdades sobre o mundo. Seu propósito era apenas apresentar essas verdades como instâncias reveladoras dos atributos do Criador.

Na recapitulação que fecha o primeiro tomo do livro, Prout resume o que seriam os pilares da teoria atômica da matéria para, em seguida, apresentar sua leitura teológica. Os pilares elencados são: 1) todos os corpos gasosos se combinam em referência a múltiplos inteiros do seu volume; 2) volumes iguais de diferentes gases apresentam diferentes massas e, adotando-se a hipótese do número de moléculas ser o mesmo nesses gases, deriva-se a conclusão de que as moléculas de cada gás devem ter um peso característico; 3) todos os corpos devem se combinar com referência ao seu peso; e 4) os números que representam a relação entre as gravidades específicas dos gases são chamados de pesos atômicos, ou pesos moleculares (PROUT, 1834, p.148-149).

Como mencionamos, Prout via no mundo natural e no progresso da condição humana a realização do que fora planejado por Deus no momento da Criação. Logo, se os compostos são mais abundantes que os corpos elementares, é porque Deus assim o queria. No início, Deus aplicou ordem ao caos, definindo toda a matéria. Em seguida, Prout sugere que o *"Fiat lux"* pode ser lido como a entrada das formas imponderáveis na criação (PROUT, 1834, p.150). Assim, o autor interpreta quais seriam os

fins almejados pelo Criador, e reconstrói umaespécie de sequência lógica que os tornaria possíveis dentro dos limites que Ele próprio estabeleceu.

De acordo com os argumentos de Prout, qualquer modificação na qualidade dos compostos que permeiam a Natureza produziria consequências catastróficas. Se a base do ácido que compõe o sal marinho não se combinasse firmemente ao radical alcalino e preservasse suas qualidades corrosivas, atacaria o leito de rocha e toda a matéria calcária, destruindo imensas porções de solo e liberando tanto ácido carbônico no ar que extinguiria a vida animal. E se água tivesse cheiro ou gosto? Se o ar fosse opaco? E se fossem invertidas as proporções de terra e água no globo? Ou de ferro e ouro? Diamante e carvão? Prout conclui que qualquer mudança seria desastrosa e, por esta lógica, que tudo o que se criou depois foi perfeitamente adaptado ao que existia antes (PROUT, 1834, p.151-158).

A água e o ar, por exemplo, foram definidos antes das plantas e dos animais. Esses últimos dependem dos primeiros para existir, e não o contrário. Questiona-se, portanto, por que seriam os primeiros tão ajustados à existência destes últimos. Para o autor, parece óbvio que é porque foram planejados para sustentar o que seria criado em seguida. Prout acrescenta que há algo de mais complexo nos corpos vivos, que exclui a possibilidade de que estes tenham derivado sua existência espontaneamente a partir de formas de organização inferiores, pois

> não há relação necessária de causa e efeito entre a existência anterior de água e ar e a existência subsequente de plantas e animais; como alguns parecem ter imaginado. Disso também decorre, irresistivelmente, que plantas e animais foram criados, tendo suas propriedades adaptadas às da água e do ar em algum período ulterior, e por algum agente externo e superior (PROUT, 1834, p.159-160).

Prout reconhece que a vida é dependente da condição fluida da água, que só existe numa faixa estreita de temperaturas. Sendo assim, é providencial que o globo terrestre tenha sido posicionado justamente a uma distância do Sol que, obedecendo às leis primeiras de propagação da luz e do calor, faz com que esses princípios nos atinjam com a intensidade apropriada. O autor não admite que o acaso poderia levar a uma combinação tão feliz de fatores necessários ao estabelecimento da vida, e enaltece o ajuste das quantidades e das qualidades de todos os recursos dirigidos a sua realização.

A parte química do tratado se encerra com as respostas formuladas pelo autor para defender seu argumento do *design* contra duas classes conhecidas de opositores. A primeira seria daqueles que negavam a existência de uma Causa Primeira, admitindo a ordem do mundo como decorrente de um conjunto de leis naturais que não teriam sido criadas num dado momento, existindo eternamente. A estes Prout chama de verdadeiros ateístas ou panteístas, pois tratariam das leis naturais como se estas fossem os próprios deuses. Já a segunda classe de opositores admitiria a existência de um Deus criador, mas negaria que a sua sabedoria ou demais atributos pudessem ser acessados pelo intelecto humano (PROUT, 1834, p.173).

Prout concede a este segundo argumento que as instâncias que ele trata como de *design* limitavam-se, de fato, a "provável *design*", numa relação que não poderia ser comprovada. No entanto, contrapõe que seus opositores também seriam incapazes de provar a falsidade do argumento, o que, para ele, anulava a crítica (PROUT, 1834, p.176).

Uma ideia mais interessante aparece na resposta ao primeiro tipo de oposição. O autor interpõe que Deus opera por meio das leis naturais, mas que elas não existiriam sem a Sua vontade. Prout trata dos recentes achados fósseis da geologia como evidências para afirmar que as próprias leis da Natureza

não seriam eternas, minando um aspecto central da tese de seus opositores. Ele reconhece uma tendência da Natureza pela manutenção de equilíbrios que decorreriam da distribuição planejada das quantidades e qualidades dos corpos que interagem, tendo reflexos sobre toda a matéria. A cada momento, corpos abaixo da condição de equilíbrio vigente tenderiam a se combinar sinteticamente, enquanto aqueles que por algum agente foram forçados em combinações mais complexas, quando deixados à mercê da sua própria ação, tenderiam naturalmente à decomposição (PROUT, 1834, p.163). Essa linha de raciocínio antecipa uma noção que será aprofundada na última parte do tratado, sobre a digestão, sugerindo a necessidade de um "agente orgânico" para que as substâncias simples minerais pudessem se combinar em corpos vivos, mais complexos, e que, após o fim da vida, entrariam espontaneamente em decomposição (PROUT, 1834, p.429). Mas aqui essa ideia é colocada para ressaltar a existência de evidências de que as condições gerais do clima no globo não foram constantes ao longo de toda a história. Assim, diferentes condições de equilíbrio teriam sido povoadas por diferentes espécies vegetais e animais, todas elas criadas em momentos específicos. No discurso de Prout não se admite que novas espécies possam surgir no mundo por qualquer mecanismo que não seja a Criação, e isso se opõe radicalmente à suposição de que a vida poderia decorrer da ação conjunta das leis naturais.

> As espécies atuais de seres organizados, em todos os casos, são produzidas apenas pelo processo de criação; e se elas fossem exterminadas, não há processos naturais ocorrendo no mundo que possam nos levar a crer que, por qualquer lei da natureza, tais seres organizados poderiam ser reproduzidos. Quer dizer, não podemos conceber que hidrogênio, carbono, oxigênio e azoto, junto à luz e ao calor, etc., pelo que conhecemos das suas propriedades,

> seriam um dia capazes, por si mesmos, de se combinarem de modo a formar uma planta ou animal(PROUT, 1834, p.163-164).

O segundo tomo do tratado anuncia que o trabalho dos meteorologistas começa onde termina o dos geólogos, isto é, estudando o equilíbrio atual do globo e as forças que nele operam sobre os efeitos do clima. Prout retoma o argumento de que uma rápida análise da composição de diferentes extratos de solo permitiria concluir que o mundo passou por períodos menos tranquilos, intercalando convulsões e calmaria. Daí se deduz que, se o mundo não é assim desde sempre, é porque teve um começo e, a partir de então, vem se transformando sob a ordem das leis naturais, até acomodar os fins para os quais foi criado (PROUT, 1834, p.178-180).

Na leitura de Prout, esses fins envolveriam a ocupação da Terra pelo homem e outras espécies vivas. Assim, o planeta teria sido preparado para abrigar a vida mediante ciclos de convulsão e estabilidade que, com o passar das eras, promoveram a mistura adequada dos princípios elementares, dividindo a superfície do globo em proporções ideais de terra e água, garantindo também o seu recobrimento uniforme pelos gases atmosféricos.

Prout enaltece o fenômeno da difusão como o responsável pelo equilíbrio de composição da atmosfera ao redor do globo, e especula que a proporção constante de quatro partes de gás nitrogênio para uma de oxigênio remete, provavelmente, a uma antiga combinação química, pois não poderia ser acidental. Logo em seguida, no entanto, o autor reconhece que os componentes do ar atmosférico não se encontram combinados quimicamente num composto (ao contrário do que havia afirmado em seu artigo de 1815), mas mantêm essa proporção fixa mesmo estando livres, o que representa uma divina exceção às leis gerais da Natureza (PROUT, 1834, p.190-194).

Embora não seja ilustrada, essa parte do texto descreve em detalhes as zonas climáticas e apresenta medidas médias de

temperatura atribuídas a linhas isotérmicas do globo. Prout trata dos constituintes primários do clima como aqueles que decorrem da distribuição de luz e calor em função da dinâmica de posicionamento do sistema Terra/Sol e do formato globular do planeta. Já os constituintes secundários remetem a aspectos internos da Terra, como a distribuição de terra e água na superfície e as propriedades da atmosfera.

Por organização didática, Prout divide sua argumentação sobre alguns problemas de estudo em partes isoladas, integrando-as ao final. Por exemplo, para tratar da atmosfera como uma mistura de gases e vapor, ele primeiro detalha qual seria o comportamento de uma atmosfera de ar seco, depois uma de puro vapor d'água. No final, trata da atmosfera existente no planeta como um misto desses dois extremos (PROUT, 1834, p.282).

Em relação à maior parte dos saberes ligados a fenômenos meteorológicos, o texto apenas lista os resultados da investigação filosófica e não se propõe a explicar como se chegou a eles. Assim, coloca-se como fato que mais de 50% dos raios de luz são bloqueados pela atmosfera, ou que a taxa de evaporação da água aumenta com a temperatura, sem maiores explicações (PROUT, 1834, p.227-278).

Poucas ideias são abordadas em maior detalhe, revelando argumentos interessantes, mas que nem sempre refletem visões consensuais dos filósofos do período. Sobre o campo magnético da Terra que orienta as bússolas, por exemplo, afirma-se que ele seria derivado do calor do Sol que incide sobre a Terra em rotação. Prout identifica um permanente desequilíbrio de calor entre as áreas iluminadas e escuras do globo, movendo-se continuamente de leste para oeste. Pelo que o autor chama de "princípios termoelétricos", surgiria uma corrente elétrica em movimento circular no interior da Terra, próximo à superfície, induzindo um campo magnético entre os seus polos (PROUT, 1834, p.233).

Percebe-se nessa explicação o recurso à decomposição do calor em eletricidade e essa mesma ideia é ainda empregada no texto para interpretar outros fenômenos meteorológicos. As tempestades de raios são apresentadas como manifestações elétricas na atmosfera, que dependeriam da presença de água num estado condensado, uma vez que vapor e ar seco são reconhecidos como maus condutores. Prout chama a atenção para o curioso fato de que as tempestades de raios são usualmente seguidas por bruscas quedas de temperatura e pela sensação de frio. Assim, o autor sugere que tomar a eletricidade como produto da decomposição do calor daria uma explicação possível para o fenômeno, ainda que esta não despertasse consenso entre os filósofos (PROUT, 1834, p.338).

Em todos os casos, os fenômenos naturais são apresentados como instâncias de *design* dignas de admiração. Assim, por exemplo, a existência da propriedade conhecida como calor latente de fusão ou de ebulição seria responsável pela prevenção de inundações e outras catástrofes climáticas, pois impediria que o gelo e o vapor se formassem instantaneamente, mantendo processos lentos e graduais que preservariam o equilíbrio da natureza. Da mesma forma, considerando as instâncias naturais de condensação, Prout afirma que devíamos muito à neve, por sua brancura, leveza e baixa condutividade térmica. Respectivamente, essas três propriedades trariam os benefícios de: refletir a luz e o calor, mantendo a condição permanente do gelo nas regiões em que ele é essencial; cair suavemente e sem danificar a vegetação, em comparação com massas sólidas de gelo que seriam deletérias e proteger a vegetação recoberta do frio intenso da atmosfera (PROUT, 1834, p.229-327).

Mesmo os fenômenos que admitiam explicações relativamente simples – como as correntes oceânicas, que podiam ser plenamente interpretadas pelos princípios da hidrostática e da pneumática – são apontados como dignos de nota. O argumento

de *design* nestes casos se colocaria, portanto, não nos princípios geradores, mas na sua aplicação exata sobre os locais e contextos em que eram necessários para garantir o equilíbrio da Natureza (PROUT, 1834, p.358).

No entanto, os principais exemplos de *design* apresentados nesta parte do tratado remetem às situações em que as leis naturais seriam providencialmente violadas em favor da vida. O comportamento anômalo da água que provoca sua expansão na formação do gelo é tratado por Prout como "a mais extraordinária instância de *design* em toda a Natureza" (PROUT, 1834, p.250). A segunda anomalia a ser destacada é a que faz com que os componentes do ar, mesmo estando apenas misturados e não combinados num composto químico, apresentem-se distribuídos uniformemente, numa proporção fixa, ao redor de todo o globo.

> [...] somos inevitavelmente levados à conclusão de que o Criador da água e do ar ocasionou essas anomalias, propositadamente, para prevenir dificuldades que teriam feito da existência orgânica uma impossibilidade física (PROUT, 1834, p.250).
>
> Assim, para que a água não se congele; e que o ar não se torne irrespirável; leis precisam ser infringidas – e ELAS SÃO INFRINGIDAS; precisamente onde a sua violação, tanto em grau quanto em natureza, é indispensavelmente necessária à existência orgânica (PROUT, 1834, p.360, grifos no original)

Como faz questão de enfatizar o autor, é emblemático que essas exceções às leis naturais se apliquem justamente à água e ao ar, tão essenciais e intimamente ligados à vida na Terra.

Os últimos tópicos da parte meteorológica do tratado dirigem a atenção do leitor para as adaptações observáveis nas plantas e animais que os tornam aptos a existirem nas diferentes zonas

climáticas do globo. Depois de enaltecer como cada animal e planta se mostram perfeitamente adaptados às condições físicas e climáticas do ambiente em que vivem, Prout traz à tona o argumento da interdependência entre os reinos, afirmando que os vegetais cumpririam a função de conectar os animais aos minerais nutritivos da terra, garantindo seus meios de subsistência. Para Prout, toda a exuberância e os detalhes das plantas não fariam sentido como fins em si mesmos. Por que envolver a semente no fruto? Por que o colorido das flores? As variedades de folhas e raízes? Em si, as plantas não revelariam sinais de *design*, mas é na sua interação com os animais que este argumento se colocaria (PROUT, 1834, p.377).

Percebe-se um discurso de valorização das utilidades na narrativa de Prout, que é coerente com a perspectiva teleológica da teologia natural. A providência é inferida à medida que se racionalizam os fins para os quais cada detalhe do mundo natural contribui. Para o autor, nada teria sentido se não fosse preparado para favorecer o domínio do homem sobre o globo. Era necessário e lógico colocar no globo um ser capaz de admirar e tirar proveito de toda a exuberância e diversidade da Criação. A menção sagrada à "imagem e semelhança" do Criador deveria referir-se, portanto, à posse da razão e à capacidade de refletir (PROUT, 1834, p.403).

Prout trata do domínio do homem sobre a criação como a realização do projeto divino. O homem não é mais forte nem melhor adaptado em termos físicos, mas é dotado da razão, que lhe permite superar dificuldades de toda sorte e o torna capaz, inclusive, de vislumbrar a ordem e os fins traçados pelo Criador. O autor não encontra na teologia natural uma resposta categórica para a dúvida eterna sobre o que seria do homem após a morte, mas sugere não haver lógica no fim completo daquele que enxerga o plano de Deus (PROUT, 1834, p.404-412).

O terceiro e último tomo do tratado é dedicado à química da organização, isto é, à formação dos componentes de corpos vivos

a partir dos nutrientes elementares disponíveis na matéria inanimada. Como já antecipamos, Prout admite a existência de agentes orgânicos como uma dedução lógica e natural, dada a impossibilidade de que princípios inorgânicos como calor, luz e eletricidade se juntem espontaneamente à matéria ponderável dando origem a corpos organizados como plantas e animais, por mais simples que estes sejam. O autor recorre à autoridade de Paley e sugere a existência não apenas de um, mas vários agentes orgânicos, com diferentes níveis de complexidade. Estes responderiam pela diversidade de seres vivos que ocupa o planeta.

> A natureza íntima do agente ou dos agentes orgânicos, ou seja qual for o nome que escolhamos para designar as energias peculiares que existem nas plantas e animais, e pelas quais eles se distinguem da matéria inanimada, é e provavelmente sempre será inteiramente desconhecida para nós(PROUT, 1834, p.429).

Embora não tenha a pretensão de precisar o que seriam esses agentes orgânicos, o autor não hesita na descrição das suas capacidades. Basicamente, esses agentes promoveriam combinações peculiares dos elementos químicos, produzindo arranjos moleculares e corpos que o químico mais bem treinado seria incapaz de imitar. Prout argumenta que os agentes orgânicos poderiam atuar individualmente sobre cada molécula e assim, "de acordo com o propósito planejado, rejeitar algumas moléculas e colocar outras em contato" (PROUT, 1834, p.436). Essas operações não violariam nenhuma das leis naturais de afinidade química ou de coesão, mas apenas se processariam numa escala que permitiria alcançar produtos diferentes dos obtidos nos frascos de reação convencionais.

A abordagem desta parte se inicia com uma longa citação de Berzeliusque comparava o corpo de um ser vivo com um

laboratório no qual várias operações químicas ocorreriam continuamente (PROUT, 1834, p.414)[63].

Prout atribui aos agentes orgânicos a capacidade de combinar substâncias por vias sintéticas, tendo como resultado os corpos organizados. Esses produtos estariam, de algum modo, num patamar acima da condição de equilíbrio regida pelas leis naturais e, portanto, entrariam em processo de decomposição espontaneamente, a partir do momento em que se encerrasse a vida daquele corpo. Assim, a própria ação dos agentes orgânicos era dependente da existência da vida como um princípio abstrato e anterior à ocorrência de qualquer das suas funções.

Para Prout, era a vida que provocava a organização da matéria e não o contrário. O autor não admitia que qualquer corpo pudesse gerar outro mais complexo do que si mesmo. Haveria, então, uma hierarquia de agentes orgânicos. Os mais simples combinariam as substâncias inorgânicas gerando compostos orgânicos simples, como açúcares. Em seguida, outros agentes mais complexos assimilariam estes produtos formando estruturas maiores, como o amido ou a lignina, que dá a estrutura das plantas. Assim, Deus teria criado tantos agentes orgânicos quantos fossem necessários para a constituição dos corpos animais mais complexos.

Da mesma forma, um cão não poderia ser gradualmente convertido num macaco, e este não podia dar origem ao homem. Cada ser mais complexo requereria um ato de criação, e seria dotado da capacidade de se multiplicar, mas apenas da forma como foi concebido (PROUT, 1834, p.438-440).

As formas mais simples de organização se dariam pela atividade das plantas que, enquanto expostas à luz, seriam capazes de "digerir o ácido carbônico", assimilando o seu componente de carbono e devolvendo o oxigênio à atmosfera (PROUT, 1834, p.449). A sequência da narrativa considera as formas de nutrição

63 O original da citação de Prout se encontra em Berzelius (1831, p.1).

de plantas e animais, descreve os órgãos do aparelho digestivoe caracteriza três classes essenciais de nutrientes: a sacarínea, a oleaginosa e a albuminosa. Nesse trecho, Prout descreve a composição de alguns representantes dessas classes de modo semelhante ao que apresentara numa comunicação à *Royal Society*, que lhe rendeu uma medalha (PROUT, 1827). Por *design*, todas essas classes de nutrientes estariam presentes no leite, sendo esta a única substância especificamente planejada como um alimento em seu estado brutoe que serviria de modelo para toda a nutrição (PROUT, 1834, p.478).

Dos animais, Prout descreve as ações do estômago e do duodeno e afirma que, comparadas a esses dois órgãos, as partes seguintes do aparelho alimentar seriam insignificantes. Conclui-se, pela análise da digestão, que os organismos animais são mais bem adaptados para a ingestão de substâncias não puras (em oposição aos cristais), e que as formas puras de açúcar, álcool e óleos são muito mais difíceis de serem processadas. Prout lamenta que o homem, por vezes, se afastaria da razão e buscaria agradar ao paladar de modo irrefletido, sobrecarregando seu organismo e debilitando-o. A cristalização de materiais nos fluidos corporais (cujo estudo consolidou a carreira de Prout como médico) seria, portanto, derivada de maus hábitos alimentares (PROUT, 1834, p.508).

Em termos de teologia natural, encontram-se dois argumentos principais nesta parte do tratado. O primeiro é o que atribui à vida um conjunto de agentes capazes de construir e manter estruturas organizadas que ultrapassam as leis naturais da matéria inorgânica. E o segundo remete a um detalhe da relação de dependência entre os reinos, tomando como providencial que praticamente todos os alimentos partilhem de uma composição semelhante em termos dos seus elementos constituintes. Assim, não é necessário que os animais mais organizados arranjem, mas apenas rearranjem esses princípios, daí tirando a sua nutrição. A

tarefa de dar uma organização básica a esses nutrientes caberia aos seres inferiores, do reino vegetal, que iniciam a cadeia alimentar (PROUT, 1834, p.511).

Na conclusão do volume, Prout traz sua leitura dos rumos que deveriam pautar o avanço da química. Dado que esta era retratada como uma ciência experimental, fundada na observação, seria impossível antecipar os conhecimentos e fatos que ela deveria trazer à tona no futuro. O caminho mais promissor, no entanto, seria o de dirigir experimentos e observações de modo a explorar as leis de quantidade no mundo natural. Para continuar contribuindo com o campo da fisiologia, Prout afirma que a química deveria "confinar-se rigidamente à aferição do que o princípio vivo faz; e de como ele opera sobre princípios inorgânicos" (PROUT, 1834, p.548-549).

Considerações finais

Nota-se alguma contradição no discurso de Prout quando ele afirma que a abordagem útil da química é meramente descritiva, e que se perderia em vazio quando tenta ser explicativa sobre os fenômenos (PROUT, 1834, p.549). Essa visão nos parece conflitante com as muitas páginas de seu tratado que se prestam, justamente, a explicar os mecanismos da interação de partículas por meio de eixos polarizantes e arranjos moleculares.

Outro ponto de contradição se refere à afirmação inicial de que a obra de Deus se mostra tanto mais maravilhosa e digna de admiração quanto mais ocultos forem os seus meios de realização. Prout chega a afirmar que Deus trilhava caminhos óbvios quando operava por vias mecânicas, como no movimento dos corpos celestes ou na própria configuração do esqueleto e da estrutura muscular dos animais (PROUT, 1834, p.11). Já quando a Sua graça se conduzia por vias químicas, pelo seu aspecto obscuro, seus efeitos pareceriam mais dignos de admiração. A contradição

se dá, novamente, quando o filósofo se propõe a esclarecer essas vias químicas, retirando delas o seu mistério e tornando seus efeitos previsíveis mediante o conhecimento de princípios simples como a atração e a repulsão elétrica (TOPHAM, 1993, p.241).

Todavia, seria o avanço da filosofia natural uma justificativa para libertar o homem do seu apreço pela sabedoria e pelo poder de um Criador? Nas palavras de Prout, não.

> O pouco que podemos saber sobre Ele, nós o sabemos quase inteiramente a partir das Suas obras. Consequentemente, aquele que mais estudou as Suas obras será o mais qualificado [...] a formar uma noção adequada sobre Ele. Assim, medir, pesar, estimar, deduzir, podem ser considerados como os mais nobres privilégios desfrutados pelo homem; pois é somente por meio destas operações que ele se torna apto a seguir as pegadas do seu Criador e a descobrir Seus magníficos intentos. Orientado por estes, ele vê e aprecia a sabedoria e o poder, a justiça e a benevolência que reinam sobre toda a criação: ele não olha mais fixamente para o céu com estúpido espanto; nem teme o trovão como algo que manifesta a fúria de um Deus vingativo(PROUT, 1834, p.356).

Dado o caráter geral do público ao qual se dirigiam os *Bridgewater Treatises*, entendemos essa coleção como uma iniciativa de divulgação dos vários ramos da filosofia natural. Notamos, no entanto, que o conteúdo de química abordado por Prout traz algumas diferenças em relação ao que encontramos nos textos de outros divulgadores do período, tais como Samuel Parkes e de Jane Marcet (BALDINATO; PORTO, 2009, 2015). Sendo Prout um praticante da química, ele trata de temas não consensuais com maior liberdade, apresentando predileções teóricas e interpretações que refletem seu ponto de vista pessoal sobre

alguns temas. Isso torna o texto mais difícil, pois o afasta do que seria uma simples introdução à química. Reforçamos, portanto, que nosso interesse pelo detalhamento desta obra se dá em função do argumento da teologia natural, que nos permite aprofundar como a investigação química admitia um convívio harmônico com convicções religiosas em textos que apresentavam essa ciência ao público não especializado.

Referências

AINSWORTH, T. Form vs. Matter. In: ZALTA, E. N. (Ed.) **The Stanford Encyclopedia of Philosophy,** Spring 2016 Edition. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2016/entries/form-matter/>. Acesso em 10 mai 2019.

ANÔNIMO. Obituary. Earl of Bridgewater. **The Gentleman's Magazine and Historical Chronicle**, v. XCIX, n.22th new series, p.58-560, 1829.

ANÔNIMO. Chemistry, Meteorology and the Function of Digestion considered with Reference to Natural Theology, by William Prout (review). **The Medico-Chirurgical Review**, v.24, p.385-400, 1836.

ANÔNIMO. Memoir of Dr. Prout, F.R.S. **The Medical Times: A Journal of Medical Science, Literature, Criticism, and News**, v.1, p.15-17, 1850.

BAHAR, S. Jane Marcet and the limits to public science. **The British Journal for the History of Science**, v.34, n.01, p.29-49, 2001.

BALDINATO, J. O. **Conhecendo a Química: Um estudo sobre obras de divulgação do início do século XIX**. 169p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências), Universidade de São Paulo, 2016.

BALDINATO, J. O.; PORTO, P. A. Jane Marcet E Conversations on Chemistry: Divulgando a Química no início do Século XIX. Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais**... Florianópolis, SC, Brasil: 2009

BALDINATO, J. O.; PORTO, P. A. Popularizing chemistry in early nineteenth-century: Samuel Parkes and his Chemical Catechism. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M. et al., (Eds.). **Crossing Oceans: Exchange of Products, Instruments and Procedures in the History of Chemistry and Related Science (Coleção CLE)**. 1. ed. Campinas: UNICAMP - CLE, 2015, p.43-63.

BERZELIUS, J. J. **Traité de Chimie. 2e Partie - Chimie Organique.** Tome 5e. Tradução M. Esslinger. Paris: Firmin Didot Frères, J. B. Baillière, 1831.

BIRD, G. Observations on Urinary Concretions and Deposits: with an account of the Calculi in the Museum of Guy's Hospital. In: BARLOW, G. H.; BABINGTON, J. P. (Eds.). **Guy's Hospital Reports**. London: Samuel Highley, 1842. v. VII. p.175-232.

BROCK, W. H. The life and work of William Prout. **Medical History**, v.9, n.2, p.101-126, 1965.

BROCK, W. H. The selection of the authors of the Bridgewater Treatises. **Notes and Records of the Royal Society of London**, v.21, n.2, p.162-179, 1966.

BROOKE, J. H. Natural Theology in Britain from Boyle to Paley. In: BROOKE, J. H.; HOOYKAAS, R.; LAWLESS, C. (Eds.). **New Interactions between theology and Natural Science**. Milton Keynes: Open University Press, 1974, p.8-54.

COLEY, N. G. Alexander Marcet (1770-1822), physician and animal chemist. **Medical history**, v.12, n.4, p.394-402, 1968.

DREIFUSS, J. J.; SIGRIST, N. T. The making of a bestseller: Alexander and Jane Marcet's Conversations on Chemistry. In: LYKKNES, A.; OPITZ, D. L.; TIGGELEN, B. VAN (Eds.). **For Better or For Worse? Collaborative Couples in the Sciences**. Basel: Springer, 2012. p.19-32.

GILBERT, D. Statement respecting the Legacy left by the late Earl of Bridgewater, for rewarding the Authors of Works, to be published in pursuance of his Will; and demonstrative of the Divine Attributes, as manifested in the Creation. **The Philosophical Magazine**, v. IX, n.1, p.200-202, 1831.

GLASSTONE, S. William Prout (1785-1850). **Journal of Chemical Education**, v.24, n.10, p.478-481, 1947.

GORDIN, M. D. The Textbook Case of a Priority Dispute: D. I. Mendeleev, Lothar Meyer, and the Periodic System. In: BIAGIOLI, M.; RISKIN, J. (Eds.). **Nature Engaged: Science in Practice from the Ranaissance to the Present**. New York: Palgrave Macmillan, 2012, p.59-82.

LEAL, K. P.; FORATO, T. C. M.; BARCELLOS, M. E. Ciência e religião em conflito na sala de aula: episódios históricos como propostas para a formação de professores. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v.9, n.2, p.235-251, 2016.

LIGHTMAN, B. V. **Victorian Popularizers of Science: Designing Nature for New Audiences**. Chicago and London: The University of Chicago Press, 2007.

LINDEE, M. S. The American Career of Jane Marcet's Conversations on Chemistry, 1806-1853. **Isis**, v.82, n.1, p.9-23, 1991.

MARCET, J. H. **Conversations on Chemistry**. 12. ed., v.2. London: Longman, Rees, Orme, Brown, Green, & Longman, 1832.

MENDELEEV, D. I. **Principles of Chemistry**. v.2. Tradução G. Kamensky. 5. ed. London: Longmans, Green, and Co., 1891.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. A história da Ciência no ensino: diferentes enfoques e suas implicações na compreensão da ciência. Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais**... Campinas, 2011.

PALEY, W. **Natural theology**. New York: Oxford University Press, 2006.

PARKES, S. **The chemical Catechism**. 12. ed. London: Baldwin, Cradock, and Joy, 1826.

PORTO, P. A. História e filosofia da ciência no ensino de química: Em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Eds.). **Ensino de química em foco**. Ijuí: Unijuí, 2010, p.159-180.

PROUT, W. On the Relation between the Specific Gravities of Bodies in their Gaseous State and the Weights of their Atoms. **Annals of Philosophy**, v. VI, p.321-331, 1815.

PROUT, W. Correction of a Mistake in the Essay on the Relation between the Specific Gravities of Bodies in their Gaseous State and the Weights of their Atoms. **Annals of Philosophy**, v. VII, p.111-113, 1816.

PROUT, W. On the ultimate composition of simple alimentary substances; with some preliminary remarks on the analysis of organized bodies in general. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, n.2, p.355-388, 1827.

PROUT, W. **Chemistry, Meteorology and the function of Digestion considered with reference to Natural Theology**. 1. ed. London: William Pickering, 1834.

ROBSON, J. M. The Fiat and Finger of God: The Bridgewater Treatises. In: HELMSTADTER, R. J.; LIGHTMAN, B. V (Eds.). **Victorian Faith in Crisis**. Stanford: Stanford University Press, 1990. p.71-125.

ROSENFELD, L. The chemical work of Alexander and Jane Marcet. **Clinical Chemistry**, v.47, n.4, p.784-792, 2001.

SEQUEIRA, M.; LEITE, L. A historia da ciência no ensino -aprendizagem das ciências. **Revista Portuguesa de Educação**, v.1, n.2, p.29-40, 1988.

THOMSON, T. Some Observations on the Relation between the Specific Gravities of Bodies in their Gaseous State and the Weights of their Atoms. **Annals of Philosophy**, v. VII, p.343-346, 1816.

TOPHAM, J. R. Science and popular education in the 1830s: the role of the Bridgewater Treatises. **The British Journal for the History of Science**, v.25, n.4, p.397-443, 1992.

TOPHAM, J. R. **"An infinite variety of arguments": The Bridgewater Treatises and British Natural Theology in the 1830s**. Lancaster: University of Lancaster, 1993.

TOPHAM, J. R. Beyond the "Common Context". **Isis**, v.89, n.2, p.233-262, 1998.

TOPHAM, J. R. Science, Natural Theology, and the Practice of Christian Piety in Early-Nineteenth-Century Religious Magazines. In: CANTOR, G.; SHUTTLEWORTH, S. (Eds.). **Science Serialized: Representantion of the Sciences in Nineteenth-Century Periodicals**. Cambridge: The MIT Press, 2004, p.37-66.

HISTORICAL INQUIRY CASES IN A BRAZILIAN CONTEXT

Douglas Allchin
University of Minnesota
allch001@umn.edu

Introduction: From History to Inquiry

Readers of this volume are likely already familiar with the value of enriching science education with history (ALLCHIN, 2013; CONANT, 1947; KLOPFER ,1969; NASH 1951). For advocates, the enduring challenge is practical, not theoretical: realizing the goal by persuading others, preparing curriculum materials, teachers and assessment instruments, and ultimately integrating history among institutional goals and daily practice (ALLCHIN, 2012; HENKE; HÖTTECKE, 2015; HODSON, 2008; HÖTTECKE; SILVA, 2012; MONK; OSBORNE, 1997).

Over the past few decades, the environment has changed significantly. Notably, in 1996 the U.S. National Science Education Standards (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996) designated "history and nature of science" as an essential feature of scientific literacy (echoed by Rutherford and Ahlgren (1990)). That focus spread internationally (MCCOMAS; OLSON, 1998). Ironically however, while historical perspectives of science were largely responsible for the shift in philosophical views in the 1970s and 80s that fueled this change, history has faded as an explicit element. What remains is robust support for teaching

about the nature of science, or *NOS* (NGSS LEAD STATES, 2013; OSBORNE et al., 2003; OECD, 2017).

While NOS has taken a comfortably strong institutional foothold, history itself remains largely peripheral. The trending theme now is inquiry, or scientific practices: educators want students to conduct their own investigations (DENG et al., 2011; NGSS LEAD STATES 2013). Teachers have largely welcomed the strategy, although mostly because it helps engage students. Accordingly, a fruitful approach for conveying historical perspectives seems to be integrating them with inquiry (ALLCHIN, 2012; in press 1; BRUNEAU et al., 2012; HIPST, 2008; RUDGE; HOWE, 2009).

Even more, however, one can view history as improving or facilitating inquiry itself (ALLCHIN, in press 2; see Table 1). First, history can help motivate questions through human and cultural context (IRWIN, 2000; STINNER, 1995; STINNER et al., 2013). Second, it can help problematize meta-level questions for deeper nature-of-science learning (ALLCHIN; ANDERSON; NIELSEN, 2014; ALLCHIN, 2013; CLOUGH, 2006; HOWE, 2007). Next, historical cases render the uncertainty of science-in-the-making, basic to learning how conclusions derive from evidence, not the other way around (FLOWER, 1995; LATOUR, 1987). A historical lineage of questions also helps structure inquiry (through an episodic, or "interrupted," narrative) (FARBER, 2003; HERREID, 2005). The narrative format itself is engaging and also provides a trajectory that leads to a secure resolution of inquiry, which is inherently open-ended (CLOUGH, 2011; HAGEN; ALLCHIN; SINGER, 1996; KLASSEN, 2007). All these elements should interest the inquiry teacher who is not yet attuned to the virtues of history. Highlighting the links specifically between inquiry and history will help enhance practicing teachers' views of the value of history.

Table 1. Features of the episodic historical inquiry model (ALLCHIN, in press).

(1)	Motivate inquiry through both cultural and biographical historical contexts
(2)	Problematize the nature of science through puzzles and questions
(3)	Foster inquiry and the uncertainty of science-in-the-making through historical perspective
(4)	Structure inquiry stepwise to follow a historical lineage of questions, linked through an episodic ("interrupted") narrative
(5)	Resolve the scientific inquiry and historical narrative in tandem
(6)	Consolidate NOS lessons through a final and explicit reflection
(7)	Use the narrative format to provide a historical explanation of NOS

Here, I present a few examples of this strategy for teaching NOS: framing historical episodes as student inquiry cases, or science-in-the-making. Each contains a series of inquiry questions motivated by and structured by historical context, threaded together by historical narrative, and designed to foster reflective nature-of-science thinking (ALLCHIN, in press 2).

These cases also exhibit another feature attractive to most teachers, which further enhances the likelihood that history is adopted in actual classroom practice: they help celebrate local scientific achievements - in this case, Brazilian science. (Fortunately for Brazilians, they are also written in Portuguese!) Of course, this local orientation is not essential to understanding the nature of science. But *for teachers*, who often decide what happens in their classroom, national pride and the prospect of providing local role models for students are potent motivators.

Vital Brazil and Snake Venom

The first case is about Vital Brazil (Figure 1), who discovered the specificity of snake venom and went on to help establish the Butantan Institute, now one of the world's leading research institutes on immunotherapy and animal toxins (ALLCHIN,

2017; RICCI; DE OLIVEIRA, in press; RICCI; TEIXEIRA; DE OLIVEIRA, in press).

Figure 1. Vital Brazil (courtesy of Butantan Institute).

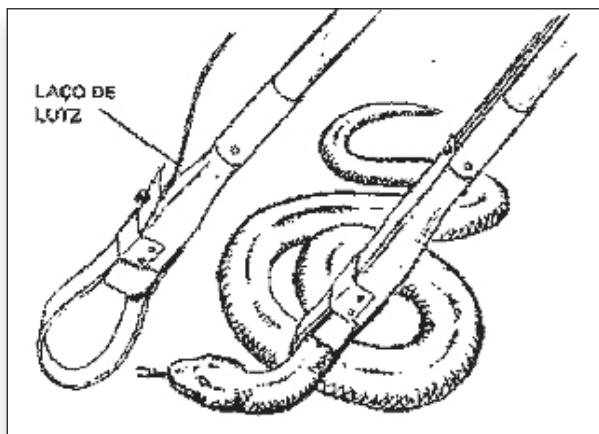
The first feature of historical inquiry is a cultural and personal context for motivating investigation. In this case, we situate ourselves in the 1890s: Imagine how nearly three thousand persons are dying annually in Brazil due to encounters with venomous snakes. Many are illiterate immigrants working on coffee plantations or building the railroads that help transport the coffee. Few doctors are available in rural areas. Workers rely primarily on local healers with their herbal remedies. But are they truly effective? Our motivation, then (still in the 1890s), is healing snake bites - effectively.

Now we add the personal dimension: Young physician Vital Brazil Mineiro da Campanha worked in the town of Botucatu, São Paulo state. He wanted to systematically test those alleged treatments.

Second, the case focuses on particular problems with particular corresponding lessons in nature of science. For example, to test remedies, Vital Brazil needs test animals. Fortunately for him, dogs, goats and guinea pigs are readily available. But what about securing the test venom? Hypothetical snake venom does not work. You need living creatures. Along with their real dangers. And Brazil is deeply afraid of snakes. How will you get the snakes? How will you extract the venom?

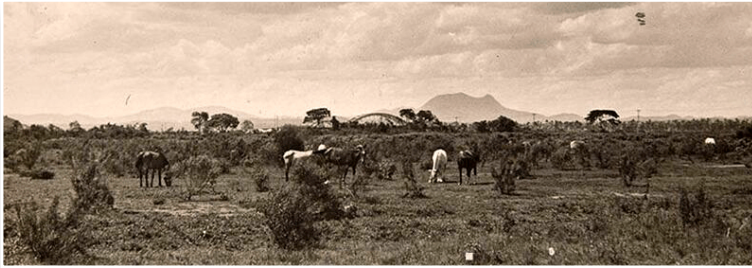
Here we meet science-in-the-making - historical inquiry feature #3. While an easy answer might be found today on Google or Wikipedia, the students must address the challenge themselves. No clues. No prior knowledge. This engagement with uncertainty and creativity is the core of inquiry learning.

After the students generate and discuss their responses, we turn back to Vital Brazil. He works with local healers to get snakes-living snakes that have been captured, rather than immediately killed as a threat. The first two specimens are mishandled and soon die. If you need snakes, a seemingly trivial task like the proper handling of snakes can ultimately be essential to practicing science. The third snake survives. Next, Brazil presents his snake with a fake target: a mass of cotton, into which it releases its venom. Much later, the director of a research institute helps develop a long-handled device for lassoing the snakes, now known as Lutz's loop (Figure 2). With all the supplies and specimens in hand, the task of administering remedies and comparing them is relatively simple. But note the nature of science lesson here: science needs concrete - and sometimes risky-work in the material world. It's not just about theories or imagining ideal experiments on paper.

Figure 2. Lutz's loop (courtesy of Butantan Institute).

Of course, the investigation is not complete. But where do you go next? Student-led inquiry can be somewhat blind and haphazard if one is not careful. If it is too pre-ordained, students feel manipulated, and simply wait for answers, losing the core lessons of uncertainty and science-in-the-making (HENKE; HÖTTECKE, 2015). So (historical inquiry feature #4), we follow Vital Brazil along a lineage of questions that emerge naturally in a narrative format. When Brazil finds (not surprisingly, perhaps) that none of the local remedies are effective, he consults elsewhere. He reads about work in Europe that indicates a role for anti-sera, a new approach to medicine. You immunize animals to snake bites, then extract their blood serum to treat other organisms that had been bitten. The dominant theory ranks the toxicity of the various species, meaning that sera from the most venomous snakes should work against all. Vital Brazil is eager to get some cobra venom, the strongest. But it all comes from France and is very expensive. When he finally secures some and tests it, he finds it has no effect at all on Brazilian snakebites. So he will have to make serum in Brazil. But that now needs a fancy lab.

Brazil finds a new job and relocates to a bacteriological institute in the capital city of São Paulo, where the director allows him time-and resources-to continue his interest in snake bites. He begins collecting several species of poisonous snakes and immunizing animals to develop anti-sera. He looks for the strongest venom, but the results are unexpected. Now it is the students' turn again, to examine and interpret the findings. The rattlesnake anti-sera work on rattlesnake venom, but not on jaracara venom. Likewise, the jaracara serum work only on jaracara bites, not rattlesnake bites. Students generally are able to conclude along with Brazil that sera are species specific, not ranked from weakest to strongest. You need serum from the snake species that bit you. At that time, the discovery of immunological specificity of snake venoms had global significance, changing how immunologists conceived poisonous venoms, not just in snakes. And students are able to share vicariously in the discovery. That's historical inquiry feature #7: the role of an experiential narrative, or storytelling format, in helping to convey an abstract explanation.

So, to prevent snake bites, Brazil needs to make sera for each snake type. More snakes, more lab resources. For a while, Brazil is prevented from doing much. Plague has broken out in a nearby port and his job is to make anti-sera. That takes priority. But it all proves a benefit eventually. To be able to produce large quantities of plague anti-sera, the government institute purchased a large farm outside the city (Figure 3) to maintain the horses and sheep that functioned as organismal "factories" for the serum. When Brazil resumes his work on snake venom two years later, he has the extra resources he needs. But now Brazil needs even more snakes, and a place to keep them all while occasionally harvesting their venom. Another problem for students: part of the historical lineage of questions.

Figure 3. Fazenda Butantan (courtesy of Butantan Institute).

Where do you keep snakes safely? Brazil constructs a large serpentarium, surrounded by a pit and sheer walls. In time, the small "snake zoo," with its thrilling proximity to danger, becomes a popular attraction for visitors.

At the same time, Brazil creates an exchange system for keeping an adequate stock of snakes and then distributing the sera. When workers in rural areas ship him a snake in one of the heavy wooden boxes that the institute provides, he returns several bottles of serum and syringes for the treatment of snake bites. Establishing that system helps transform an ideal of potential treatment into a sustainable reality. Mortality rates from snakebites drop from 25% to 2%. This is science in action and it exhibits substantive work and resources, not just abstract scientific reasoning alone.

Vital Brazil works over the next several years to transform the old farm into the Butantan Institute, which has become today one of the most important worldwide research centers in immunology, the production of vaccines and anti-sera, and other biopharmaceuticals. Historical inquiry feature #5: "happy ending" and resolution. The original scientific problem of healing snakebites is solved, and the personal and cultural story comes to a satisfying end.

That is an opportunity to review, and consolidate learning about the nature of science. This case illustrates (repeatedly) that scientific ideas are one thing, but without the institutions and resources that materially enable research, science is empty. The image of the serpentarium, which became a popular tourist destination celebrated in postcards, helps underscore the indispensable role of infrastructure in science (Figure 4).

Figure 4. Serpentarium (courtesy of Butantan Institute).

So, the case of Vital Brazil profiles a scientist of international caliber, but also a Brazilian hero. It is also a story of science solving Brazilian problems, but with a globally significant solution. The local connection can make the science seem more relevant and important to Brazilian students - and so contributes to the core problem of motivation and engagement in learning about science.

Carlos Chagas and the Railroad Workers Disease

A second case also illustrates the historical inquiry model. And it involves a scientist that most Brazilians know by name (AZEVEDO; DEL CORSO, in press). Yet few know much about his research in much detail. So it provides another opportunity for profiling the nature of science, but in this case with the name suppressed. The questions and unknowns are foremost — to revive science-in-the-making (#3), even though events have already happened.

The initial problem is, again, a disease among the railroad workers (#1) early last century. A young physician is sent to the countryside to treat patients. At first, the disease looks like malaria, but also not exactly like malaria. Students must analyze the list of symptoms of each and decide: Is the disease merely a variant of malaria, to be treated the same way, or is it something new, which may require a different treatment?

Further observation indicates that in later stages, the patients develop enlarged thyroid glands (Figure 5). Is the disease a form of goiter? Again, the students must review the symptoms and decide. They must also consider, more generally, what criteria are used to classify diseases (#2).

While visiting a remote district, our physician hears from the chief engineer of the railroad that many patients with the goiter have problems with bed bugs in their shacks. He wonders if there might be a connection. Now, the students face the NOS problem of expertise (#2). The engineer is not a doctor. Should they trust what he says?

Just a few decades earlier, Carlos Finlay had identified mosquitoes as carriers of yellow fever, so our physician decides to investigate the bed bugs. But how do you research this? Here, the students must think about research strategies, how to organize a search, using models and hypotheses (#2).

Along with his colleague, our physician collects several samples of the bug. Following the example of yellow fever, he looks in the gut for microorganisms and finds a flagellated protozoa of the genus *Trypsanoma*. But is it the cause? Because of his interest in diseases, he also examines the blood of other animal species, and finds another form of Trypsanoma in the local marmosets. But he cannot be sure if it is exactly the same species as that found in the disease bugs. Students are again challenged to propose ways to investigate this problem (the next question in a series of inquiries, #4).

Figure 5. The railroad workers' disease.

With the help of a major research institute in Rio de Janeiro, the team finds that when marmosets are infected by the bugs, they develop the new disease in 30 days, and show signs of the microorganism in their blood - but now they find it to be a new species of *Trypsanoma*, unlike those he found in the marmoset blood earlier. So now our physician examines blood from

his disease patients, but they do not show the presence of bug's *Trypsanoma* either. Apparently, with all this work, there is no connection. So, what do you do next? This is another major dilemma for the students to solve (again, a *series* of questions connected by an authentic *narrative*, #4, #7).

Our physician in Brazil, Carlos, returns from the research institute to treat his patients. One young patient is severely ill, in an advanced stage. And he decides to takes another blood sample. This sample now shows the new species of *Trypsanoma*. So, there does seem to be a connection, after all. The microorganism must have changed its form inside the patient as the disease progressed.

In the remainder of the case, students learn about the changes in the morphology of the *Trypsanoma*. And they see how the microbe moves from organism to organism, via the bug, eventually to humans. The discovery of a new disease is confirmed, and named after the physician, Carlos Chagas (Figure 6) - a famous Brazilian figure many students know, although only remotely. Chagas was the first person to identify a new disease and also track down all the stages of the infection cycle, which involved the microorganism, the insect vector, and several natural hosts (#5).

In this case, students learn about several aspects of the nature of science, which are now reviewed (#6):

1. the role of economic factors in the work of scientists;
2. the role of personal motivations;
3. the role of the analogy between a new disease and one already known;
4. the role of local knowledge versus systematic research;
5. the role of chance in scientific discoveries;
6. the interaction of laboratory and field studies.

This case helps illustrate further the role of a lineage of questions and a sequence of inquiry episodes for the students (#4). They follow the history of a major discovery, but in small steps.

They participate in authentic science, not artificial or "cookbook" classroom investigations. All the answers are not obvious. The students must work with uncertainty and make conclusions based on the evidence available, rather than on already knowing (or guessing) the right answer (#2).

Figure 6. Carlos Chagas (Wikimedia, cc2).

Johanna Döbereiner, Soil Bacteria and Plants

The third case in this small collection focuses on a less familiar scientist, but one of enormous economic importance to Brazil: Johanna Döbereiner (Figure 7) (PONCE; SIMONETTI, n.p.). Her work begins in the late 1950s and extends for several decades, helping to establish a role for nitrogen fixing bacteria in many tropical crops — beyond the *Rhizobium* bacteria in legumes that have been known for a long time.

Figure 7. Johanna Döbereiner (courtesy Embrapa)

Döbereiner arrives in Brazil in the 1950s with her husband, as émigrés from Czechoslovakia. At first, she (and the students following the case) must decide if, despite her credentials and experience, she will accept an unpaid position. She ultimately accepts, allowing her to continue work on soil microbiology and agronomy. When her supervisor leaves, she is left to work on her own. She reflects on the problem of fertilizers, which are now promoted by agricultural models from the U.S. Johanna notices that some strains of plant develop even if nobody fertilizes them. For example, Bahia grass grows everywhere in Brazil without being fertilized. Sugarcane productivity can remain constant for many years without the addition of nitrogen fertilizer. Again, adopting the position of Johanna, students now speculate on possible reasons why.

With her background in soil microbiology, Johanna considers a role for independent nitrogen-fixing bacteria in the soil. One such species is *Azotobacter*. She can test their growth

in Brazilian soils, but what factors here might be relevant to investigate? Students must decide. Döbereiner considers temperature first and conducts climate-controlled experiments. She concludes that higher temperature matters to *Azotobacter* growth. Accordingly, the numerous studies already done on *Azotobacter* in the temperate environments of Europe and North America are not relevant to Brazil. Location matters. Temperature was an overlooked variable.

Johanna also considers the possible role of soil acidity. *Azotobacter*, researchers have claimed, do not like acid soils. So (apparently) they should not thrive in the generally acidic soils of Brazil and the tropics. But Johanna also finds a few previous studies where they *are* found in tropical soils. Students receive one researcher's data on the percentage of *Azotobacter* in soil samples with different pH values. They look for any patterns, and compare their conclusions with those already published. Johanna must reject the widely accepted conclusions as not informed by studies in the tropics, and biased by the scientists' preferred theories.

So, based on lab studies, *Azotobacter* should be able to grow in Brazilian soils. But do they? Students must plan how to proceed. Now, Johanna must examine soil samples from different geographical regions within Brazil, then conduct more field experiments based on different soils inoculated with *Azotobacter*. They must be tested again with different conditions of temperature and acidity. Yes, they do add nitrogen to the soil, enhancing the growth of many plants. Meanwhile, some species of *Azotobacter* are reclassified to another genus, *Beijerinckia*. This opens new possibilities for considering other related species that have not yet been investigated.

Johanna now takes a few years to finish her formal degrees in the U.S. and returns to Brazil and is appointed to the National Soybean Commission. Economic conditions favor the export of soybeans, but - here is the next question - what can help increase

production? The dominant model of agriculture is to develop improved genetic strains and make large capital investments for mechanized farming, with substantial inputs of fertilizer and irrigated water. Johanna considers instead the role of biological nitrogen fixation. Soybeans are not known to have symbiosis with *Rhizobium.* But Johanna is skeptical and tries several different strains of *Rhizobium*, finding some new ones that interact with soybeans. At first her work is disregarded as irrelevant. But as the difficulties - and expenses - of capital-intensive agriculture increase, Johanna provides an alternative to the costly use of fertilizer - which makes soybean production cheaper than in the U.S. Soybean production increases over the next several decades. By 2003, Brazil becomes the world's second largest producer of soybeans, accounting for over 1/4 of the world's total. Johanna's attention to the microscopic bacteria in the soil has resulted in major economic benefit for Brazil. Another local scientist, but of international stature.

Other Cases from Brazil

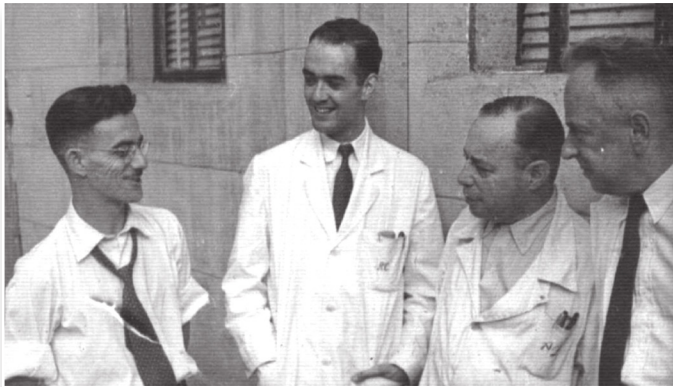
A fourth case (POLATI; CARDOSO, 2017) begins with Arthur Eddington and his now famous inquiry into the gravitational bending of light according to Einstein's theory of general relativity. Relevant measurements could be taken during a full solar eclipse, and one was due soon in 1919. As a Quaker, Eddington also wanted to promote post-war amity and cooperation by mounting an international science expedition. This is where student inquiry begins. Of course, the pathway of the eclipse must be determined first, and it reveals a swath through Brazil. But what is an appropriate observation site? Students must create a list of relevant criteria, such as favorable weather conditions, proximity to a port (to enable transport of all the telescopic equipment), and so forth. (Again, the concrete materiality matters here just as much

as the theoretical design, easily sketched on a board.) Eddington consults an astronomer in Brazil, Henry Morize (Figure 8), and students take his role in choosing a location. As is now well known, he recommended a location in Sobral (Figure 9). The case also allows students to consider the results and the errors introduced by problems with the telescopic equipment. Further, how will all this be communicated to the public? Ultimately, with data also from Africa, Eddington announces the dramatic confirmation of Einstein's theory and the news appears on the front page of major newspapers worldwide. A major discovery, with Brazilians being significant contributors. The local connection makes the science a bit more approachable, and helps motivate a historical perspective into the nature of scientific practice.

Figure 8. Henry Morize, Brazilian astronomer who worked with Arther Eddington in 1918-19.

Figure 9. Site of the 1919 solar eclipse observation in Sobral, Brazil.

Finally, I mention only briefly the case of evolutionary biologist and geneticist Theodius Dobzhansky (de Oliveira Gomes & de Moura Silva, in press). Dobzhansky was instrumental in integrating modern evolutionary studies with population genetics. He was invited to Brazil and chose to study wild fruit flies there. In several visits over many years, working with colleagues there, he collected important evidence on the genetics of evolving populations. At the same time, he helped the University of Sao Paulo establish its Genetics Department (Figure 10).

Figure 10. Geneticist Theodosius Dobzhansky (right) with Brazilian colleagues in the 1960s: Mario G. Ferri, Antonio Brito da Cunha and André Dreyfus (courtesy Museu da Genetica, University of Rio Grande do Sul).

Heroes and Myth-Conceptions

All these cases highlight Brazilian scientists. That makes the history a more attractive resource to the typical Brazilian teacher (at least). Yet at the same time, a local or regional focus carries certain risks. Too eager for pride, one can easily overstate the importance of some scientific discovery and thereby dilute authentic lessons about the nature of science. But the cases above were selected precisely because they also exhibited global significance: they are just as valuable in the U.S., Canada, Germany, Greece, or elsewhere, where they can help profile the global nature of contributions to science. What matters is that the problems are significant, the narratives compelling, and the nature of science lessons clear and insightful.

Such cases are also vulnerable in another way. A common tendency of story-telling among novices is to amplify the heroic and nationalistic elements, creating monumental and unrealistic images of scientists. That is, they may easily succumb to myth-conceptions, pseudohistory and unfruitful rational reconstructions (ALLCHIN, 2000; 2003; 2004; 2006). When that happens, historical cases fail to render the nature of science faithfully. So a focus on local heroes should be balanced with a healthy historical realism to portray NOS authentically (ALLCHIN, 2000; HEERING, 2011). One should honestly acknowledge scientific errors, lapses in scientific integrity or research ethics, and personality flaws. Heroes need not be perfect to be heroes. Indeed, utopian "role models" typically impress students as unachievable. By contrast, realistic profiles of scientists become motivational as "real models." Also, given an important discovery as a benchmark, one can safely highlight the role of historical contingency, chance encounters, or accident. One need not misleadingly attribute the achievement wholly to one person's abilities. Equally, one should take the opportunity of the secure image of a central

hero to underscore the role of others who contributed: research is inevitably a communal effort. Morize is an important part of Eddington's story. Nevertheless, when properly contextualized and enriched with inquiry questions, local historical cases can offer an attractive opportunity for teachers to engage students in lessons about the nature of science.

References

ALLCHIN, D. How *not* to teach historical case studies in science. **Journal of College Science Teaching**, v.30, p.33-37, 2000.

ALLCHIN, D. Scientific myth-conceptions. **Science Education**, v.87, p.329-351, 2003.

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, v.13, p.179-195, 2004.

ALLCHIN, D. Lawson's shoehorn, reprise. **Science & Education**, v.15, p.113-120, 2006.

ALLCHIN, D. The Minnesota Case Study Collection: New historical inquiry cases for nature of science education. **Science & Education**, v.21, p.1263-1282, 2012.

ALLCHIN, D. **Teaching the nature of science:** Perspectives and resources. St. Paul, MN: SHiPS Education Press, 2013.

ALLCHIN, D. From snakebites to serpentariums. **American Biology Teacher**, v.79, p.428-430, 2017.

ALLCHIN, D. From history to teaching nature of science. **Cadernos de História da Ciência**, v.13, n.2, in press 1.

ALLCHIN, D. Historical inquiry cases for nature of science learning. **Cadernos de História da Ciência**, v.13, n.2, in press 2.

ALLCHIN, D.; ANDERSEN, H. M.; NIELSEN, K. Complementary approaches to teaching nature of science: integrating student inquiry, contemporary cases and historical cases in classroom practice. **Science Education**, v.98, p.461-486, 2014.

AZEVEDO, N. H.; DEL CORSO, T. "A doença dos trabalhadores da estrada de ferro": Uma narrativa histórico investigativa e suas potencialidades para explorar aspectos de natureza da ciência. **Cadernos de História da Ciência**, v.13, n.2, in press.

BRUNEAU, O. et al.(eds.) **Innovative Methods for Science Education:** History of Science, ICT and Inquiry Based Science Teaching. Berlin: Frank &Timme, 2012.

CLOUGH, M. F. Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. **Science & Education**, v.15, n.5, p.463-94, 2006.

CLOUGH, M. P. The story behind the science: Bringing science and scientists to life in post-secondary science education. **Science & Education**, v.20, n.7-8, p.701-717, 2011.

CONANT, J. B. **On understanding science**. New Haven, CT: Yale University Press, 1947.

CONANT, J. B. (ed.). **Harvard case histories in experimental science**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1957.

DENG, F. et al., Students' views of the nature of science: A critical review of research. **Science Education**, v.95, p.961-99, 2011.

FARBER, P. Teaching evolution and the nature of science. **American Biology Teacher**, v.65, p.347-54, 2003.

FLOWER, M. Conceiving science education as a practice of technoscientific practice. In: Finley, F. *et al.*, (eds.), **Proceedings of the Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference**, p.389-409. Minneapolis, MN: University of Minnesota Office of Continuing Education, 1995.

HAGEN, J. B.; ALLCHIN, D.; SINGER, F. **Doing biology.** Glenview, IL: HarperCollins, 1996.

HEERING, P. False friends: What makes a story inadequate for science teaching? **Interchange**, v.41, p.323-333, 2011.

HENKE, A.; HÖTTECKE, D. Physics teachers' challenges in using history and philosophy of science in teaching. **Science & Education**, v.24, n.4, p.349-385, 2015.

HERREID, C. F. The interrupted case method. **Journal of College Science Teaching**, v.35, n.2, p.4-5, 2005.

HIPST [History and Philosophy in Science Teaching Consortium]. (2008). Theoretical basis of the HIPST Project. http://hipst.eled.auth.gr/hipst_htm/theory_complete.htm. Accessed 17 April 2019.

HODSON, D. **Towards scientific literacy**. Rotterdam, The Netherlands: Sense, 2008

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing history and philosophy of science in school science education is a challenge: An analysis of obstacles. **Science & Education**, v.20, p.293-316, 2012.

HOWE, E. M. Addressing nature-of-science core tenets with the history of science: An example with sickle-cell anemia. **American Biology Teacher**, v. 69, p. 467–72, 2007.

IRWIN, A. R. Historical case studies: Teaching the nature of science in context. **Science Education**, v.84, p.5-26, 2000.

KLASSEN, S. The application of historical narrative in science learning: The Atlantic cable story. **Science & Education**, v.16, n.3-5, p.335-352, 2007.

KLOPFER, L.E. The teaching of science and the history of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v.6, p.87-95, 1969.

LATOUR, B. **Science in action**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.

MCCOMAS, W. F.; OLSON, J. K. The nature of science in international science education standards documents. In: MCCOMAS, W.F. (Ed.), **The nature of science in science education: Rationales and strategies**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 1998, p.41-52.

MONK, M., OSBORNE, J. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. **Science Education**, v. 81, p.405-24, 1997.

NASH, L. K. An historical approach to the teaching of science. **Journal of Chemical Education**, v.28, p.146-151, 1951.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **National science education standards**. Washington, DC: National Academy Press, 1996.

NGSS LEAD STATES. **Next generation science standards: For states, by states**. Washington, DC: The National Academies Press, 2013.

OSBORNE, J. et al., What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. **Journal of Research in Science Teaching**, v.40, p.692-720, 2003.

OECD. **PISA for development assessment and analytical framework: Reading, mathematics and science, preliminary version**. Paris: OECD Publishing, 2017.

DE OLIVEIRA GOMES, F.; DE MOURA SILVA, G. A genética no Brasil entre 1934 e 1956: um estudo de caso histórico para o ensino de natureza da ciência. [Genetics in Brazil between 1934 and 1956: a historical case study for teaching nature of science.] **Cadernos de História da Ciência**, v.13, n.2, in press.

DE OLIVEIRA GOMES, F.; DE MOURA SILVA, G. Dreyfus, Dobzhansky e a Genética no Brasil. **Cadernos de História da Ciência**, v.13, n.2, in press.

POLATI, F.; CARDOSO, D. Arthur S. Eddington provou a teoria da relatividade geral? Uma proposta de atividade histórica para discutir a natureza da ciência. XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF. http://www1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxii/sys/resumos/ T1326-1.pdf , 2017. (Accessed April 18, 2019).

PONCE, R.; SIMONETTI, U. **Johanna Döbereiner, soil bacteria and plants.** (n.p.)

RICCI, F. P.; TEIXEIRA, K. K. S.; DE OLIVEIRA, A. D. O estudo do caso histórico de Vital Brazil em sala de aula: uma

ferramenta para investigar a visão dos alunos sobre os desafios enfrentados durante uma pesquisa cientifica. [The study of the historical case of Vital Brazil in the classroom: a tool to investigate students' views on the challenges faced during a scientific research.] **Cadernos de História da Ciência**, v.13, n.2, in press.

RICCI, F. P.; DE OLIVEIRA, A. D. Vital Brazil e as mordidas de cobras. **Cadernos de História da Ciência**, v.13, n.2, in press.

RUDGE, D.W.; HOWE, E.M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. **Science & Education**, v.18, p.561-80, 2009.

RUTHERFORD, F. J.; AHLGREN, A. **Science for all Americans**. Oxford, England: Oxford University Press, 1990.

STINNER, A. Contextual settings, science stories, and large context problems: Toward a more humanistic science education. **Science Education**, v.79, n.5, p.555-81, 1995.

STINNER, A. et al. The renewal of case studies in science education. **Science & Education**, v.12, n.7, p.617-43, 2003.

EDUCAÇÃO CIENTÍFICA NUMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CULTURAL DA CIÊNCIA

Andreia Guerra
CEFET/RJ; NIEHCC
andreia.guerra96@gmail.com

Introdução

Discussões em torno do porquê, o que e como ensinar ciências em determinada sociedade aparecem de forma implícita e explícita em diferentes artigos e pesquisas da área de educação científica (MARTINS, 2015; MOURA; GUERRA, 2016; RUDOLF; HORIBE, 2016). As questões do "como" e "o quê" ensinar, entretanto, apenas ganham consistência quando posicionadas dentro de uma perspectiva que as considere em relação ao porquê das formas de organização do conhecimento escolar (MOREIRA; SILVA, 2011).

No caso da educação científica, na maioria das vezes em que a questão do porquê se coloca, as respostas direcionam-se para a formação cidadã, para a preparação dos jovens para o engajamento cívico, visando uma sociedade democrática (RUDOLPH; HORIBE, 2016). Nesse caminho, Rudolph e Horibe (2016) argumentam que o engajamento cívico, característico da cidadania, deve se relacionar com a tomada de decisão a respeito de temas de interesse público e destinados a promover o bem comum e não centrado em decisões relacionadas a interesses estritamente pessoais. Concordamos com os autores e entendemos que isso impulsiona a procura de caminhos para promover uma educação

científica capaz de potencializar compreensões sobre as questões respondidas pelas ciências e sobre como as ciências se desenvolveram ao longo da história. Dessa forma, consideramos fundamental que a educação científica possibilite aos estudantes conhecer os diferentes atores sociais produtores e participantes das ciências, os diferentes locais de produção científica, assim como, os modos de divulgação e difusão desse conhecimento ao longo da história.

Na busca de caminhos para a concretização de uma educação científica capaz de cumprir os objetivos destacados, encontramos pesquisas que destacam a História, Filosofia e Sociologia das Ciências como possibilidade (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; MOURA, 2014; HENCKE; HOTTECKE, 2015; MARTINS, 2015). Concordamos com os resultados dessas pesquisas, mas entendemos que não basta adotarmos uma abordagem histórica para o ensino das ciências longe do whiguismo, presentismo e outras visões equivocadas de História da Ciência. Defendemos ser preciso definir qual a abordagem historiográfica a ser usada em sala de aula, uma vez que há diferentes possibilidades de abordagens históricas em acordo com a historiografia contemporânea. Nós do NIEHCC[64] entendemos que para construirmos nas aulas de ciências espaços capazes de problematizar as questões acima destacadas, é necessário discutir as ciências como cultura, e, portanto, as práticas científicas como práticas culturais situadas num tempo e espaços específicos. Essas considerações levaram-nos a adotar a historiografia da História da Ciência denominada História Cultural da Ciência (HCC) (PIMENTEL, 2010; BURKE, 2008) como um possível caminho para abordagens históricas na educação científica (MOURA; GUERRA, 2016; JARDIM; GUERRA, 2017a, 2018; MOLINA, 2017; JAEGER, 2018).

64 Núcleo de Investigação em Ensino História da Ciência e Cultura, https://niehcc.wordpress.com/

Nesse artigo, buscamos apresentar a defesa da HCC em aulas de ciências, trazendo algumas considerações a respeito dessa abordagem historiográfica e apresentando, sucintamente, três propostas pedagógicas desenvolvidas a partir da HCC em escolas públicas do Estado do Rio de Janeiro.

Um olhar para a História Cultural da Ciência

O aporte da HCC entende que as ciências não devem ser estudadas na cultura, mas como cultura (PIMENTEL, 2010). Cultura aqui não se refere apenas à estrutura social, mas relaciona-se crucialmente a valores, significados e símbolos associados à sociedade, o que faz com que estes deixem de ser meros adornos na constituição das ciências e sejam tomados como elementos centrais em sua constituição (GALISON, 1997).

Ao estudarmos as ciências entendendo-as como cultura, será importante considerar na análise as práticas e representações científicas, assim como as culturas materiais e visuais (PIMENTEL, 2010). No caso das práticas, é preciso considerar que as práticas científicas não abrangem apenas ações performáticas relativas a manipular instrumentos e amostras ou a interpretar dados e cálculos (MOURA; GUERRA, 2016). Incluem-se aqui as diferentes práticas envolvidas nas ações dos sujeitos que produzem direta ou indiretamente ciências, como: o manejo dos instrumentos, as práticas de difusão e divulgação do conhecimento, entre outras (JARDIM; GUERRA 2017a). Todas essas *performances* são culturais, e, como tais, locais, vinculadas a um tempo e espaço, e, portanto, não estáveis.

No estudo das ciências como cultura, além das práticas, temos que considerar as representações. As linguagens e discursos científicos, longe de mimetizar fenômenos e copiá-los, os fabricam ou os reconstroem na perspectiva de comunicar e persuadir uma comunidade (PIMENTEL, 2010).

Associadas às práticas e às representações científicas devemos atentar à cultura visual e material, ou seja, aos procedimentos e meios materiais imersos na construção dos conhecimentos científicos. Nesse caso, deve-se considerar que os instrumentos, suas construções, suas reconstruções ou o emprego de regras não escritas para seu manuseio são elementos cruciais para que os mesmos atuem em prol de conhecimento científico (PIMENTEL, 2010). O mesmo podemos dizer das imagens produzidas ao longo do desenvolvimento das ciências; elas não são meras ilustrações. O modo de produzi-las, aquilo que ressaltam, aquilo que escondem, os perfis de seus autores apontam questões fundamentais, colocando-as como fonte histórica, e, portanto, susceptíveis de serem lidas e interpretadas, assim como qualquer texto escrito (DASTON, 2017).

As ações culturais e socioinstitucionais associadas às *perfomances* científicas produzem significados válidos na comunidade científica (PIMENTEL, 2007; BURKE, 2010). Isto porque a construção, validação e difusão do conhecimento se estabelecem na localidade e temporalidade de sua produção e os problemas a que as ciências se dedicam e as formas com que se constroem respostas a esses problemas mudam ao longo da história. Dessa forma, os que produzem ciências estão ligados a uma teia, a qual tanto orienta suas ações, quanto é, por tais ações, determinada. Nesse sentido, seus trabalhos se estabelecem nas tensões daquele contexto, que são refletidas nos grupos sociais reconhecidos como participantes da produção científica e naqueles que mesmo numa condição considerada periférica participam dessa produção.

A HCC tem seu começo marcado pelos *Social Science Studies* e por uma virada antropológica da História das Ciências (PIMENTEL, 2010; BURKE, 2008). Nesse sentido, o termo cultural representa o conceito de cultura tomado da antropologia e como tal a entende como um padrão de significados, historicamente transmitido, incorporados em símbolos; um sistema de

concepção herdado e expresso em formas simbólicas por meio dos quais homens e mulheres se comunicam e produzem ações sobre o mundo em que vivem e, assim, perpetuam, modificam e criam conhecimentos e atitudes acerca de suas vidas (GEERTZ, 1978). Dessa forma, a cultura é entendida como algo que abarca valores, significados e símbolos representados na sociedade. Esse aporte antropológico faz com que as ciências não sejam entendidas como algo que se constrói na cultura, mas algo que se constitui como cultura, de forma que todas as condições possíveis de teorização, experimentação e instrumentalização são condições locais e temporais (GALISON, 1997)

Resumidamente, a HCC busca produzir relatos históricos acerca do conhecimento científico produzido por homens e mulheres ao longo do tempo em sintonia com os significados culturais que engendram o conhecimento científico estudado (PIMENTEL, 2010). Dessa forma, a HCC se afasta daqueles estudos que focam exclusivamente nos resultados produzidos por cientistas e nas ideias por eles construídas. A partir desse afastamento, o aporte historiográfico aqui adotado se interessa pelas práticas estabelecidas e imagens produzidas ao longo do processo de construção das ciências, ou seja, seu foco de estudo concentra-se nas formas de produção e comunicação dos conhecimentos científicos, nos seus modos de representação e nas dimensões visuais e materiais das ciências (PIMENTEL, 2010).

O estudo histórico das ciências a partir das práticas aponta para a ausência de revoluções no processo de construção das ciências. As mudanças ocorrem, mas são graduais. Como as práticas científicas são reconhecidas como práticas culturais, não há como apagar o passado, como produzir um novo de forma incomensurável com o antigo. Vejamos como exemplo os estudos desenvolvidos na Europa nos séculos XVI e XVII, período reconhecido como o da Revolução Científica. Nesse contexto, a Europa ampliou seus limites geográficos, as navegações apresentaram um novo mundo

aos europeus (PIMENTEL, 2007). Novos animais, novos vegetais, novas culturas foram conhecidos, estabelecendo novos limites geográficos, ampliando horizontes. Novos mapas foram elaborados, novas técnicas, como a da perspectiva, foram disseminadas, novos artefatos, como a imprensa, o telescópio e microscópio, foram construídos. Os novos conhecimentos trouxeram técnicas como a da leitura individual e silenciosa e impulsionaram estudos, como os relacionados ao corpo humano, às plantas e aos animais. As novidades não significaram, entretanto, uma mudança radical, uma revolução, o novo emergiu num mundo marcado pelo passado. Pilares do saber clássico como Ptolomeu, Hipócrates e Galeno foram reconsiderados num processo em que novos saberes conjugaram aos antigos saberes. No estudo do corpo humano, por exemplo, novas práticas medicinais e a microscopia marcaram o período. Em torno dessas práticas, polidores de lentes, construtores de microscópios e barbeiros foram responsáveis por práticas culturais, que incorporadas ao estudo do corpo humano impulsionaram-no, trazendo questões que se distanciavam daquelas de Galeno. O novo conviveu com o velho na construção de novos olhares para o corpo humano (PIMENTEL, 2007). As ciências, vinculadas às práticas culturais do período em que se estabelecem, encontram-se marcadas pelo novo que as práticas engendram e pelo antigo no qual elas estão sustentadas. Vale ainda destacar que estudar o processo de construção das ciências com base nas práticas científicas implica em reconhecer que as ciências não foram apenas desenvolvidas por filósofos naturais e cientistas, significa reconhecer o trabalho de pessoas fora dos muros das ciências estabelecidas.

Ainda em relação ao estudo do corpo humano, é importante ressaltar que no processo de revalorização dos sentidos e consideração dos mesmos como fonte de conhecimento, as imagens ganharam destaque. Na obra de Andreas Vesalius (1514-1564), por exemplo, a imagem tem maior dimensão que a palavra. O autor conectou texto à imagem, algo presente nos manuais atuais,

através do uso de letras e palavras nas ilustrações (PIMENTEL, 2007). As imagens se fizeram presente nos diferentes estudos, numa relação entre visualização e verdade, o que apontou para questões como: o que deveria ser representado numa imagem científica, algo concreto ou algo de valor universal? Deveriam ser reproduzidos detalhes ou um conjunto de elementos relacionados com determinado tema ou estrutura? Essas são questões que perpassaram aquele período e engendraram respostas diferentes em diferentes momentos (DASTON; GALISON, 2007).

Por exemplo, Carolus Linnaeus (1707-1778), que no estudo das plantas se dedicou ao estabelecimento de um sistema de classificação, também, atribuiu às imagens um papel preponderante em seu trabalho. Naquele contexto cultural, para o ato de observar, era considerado fundamental ter boa memória, possuir habilidades de analisar e sintetizar sensações, além de paciência e talento para extrair o típico, o comum, a partir do conjunto (da amostragem) analisado. Naturalistas, como Linnaeus, concentravam suas atenções nas características consideradas “constantes, certas e orgânicas” (DASTON; GALISON, 2007). Os ilustradores eram, assim, conduzidos a concentrar suas atenções não numa reprodução mimética da planta retratada. Seu olhar não deveria estar concentrado nos detalhes, mas na busca de registros de caraterísticas consideradas essenciais como número, forma, proporção e posição. Entendia-se que tais características asseguravam que a essência da planta seria representada. O naturalista bem preparado era o único capaz de conduzir a boa representação, pois era ele o sujeito a observar a planta e encontrar sua essência. Com isso as ilustrações eram produzidas a quatro mãos, o naturalista conduzia as mãos dos ilustradores para representar o que era considerado capaz de estabelecer um sistema de classificação universal (DASTON; GALISON, 2007).

Essa forma de retratar um objeto não foi algo hegemônico na época, nem permanente no tempo (DASTON; GALISON,

2007). Na metade do século XIX, por exemplo, presenciamos a busca de caminhos para produzir imagens nas ciências capazes de minimizar as intervenções idealizadoras, como as pretendidas por Linnaeus. Para alguns desse período, isolar o imperfeito na busca do perfeito tornou-se um vício científico. Nesse contexto, segundo Daston e Galison (2007), a objetividade mecânica nas ciências se fez presente, com a busca de um conhecimento que não contivesse traços do pesquisador. Havia, assim, a pretensão de um conhecimento que não fosse marcado por preconceitos ou habilidades, fantasias ou julgamento, vontades ou buscas. A forma de retratar destacada em Linnaeus e a da objetividade mecânica não se constituem em uma história de sucessão, não houve uma revolução em que uma foi substituída pela outra. A história é de certa coexistência, de certa permanência, porém com inovação. Esse olhar histórico permite-nos historicizar conceitos considerados hoje demarcatórios da ciência, como é o caso da observação e da objetividade, indicando um pluralismo epistemológico no desenvolvimento científico (DASTON, 2008; 2017).

Na perspectiva da HCC, não só as práticas diretamente ligadas à produção do conhecimento são importantes, aquelas relacionadas à difusão e divulgação trazem, também, perspectivas fundamentais para se compreender como as ciências se construíram. No contexto europeu do século XVIII, a construção de instrumentos científicos junto à difusão e adoção cada vez maior da prática experimental nas Universidades, nas variadas palestras itinerantes e demonstrações públicas do período foram fundamentais para a produção e difusão de estudos como os da eletricidade (JARDIM; GUERRA, 2018).

Para cada dezena de acadêmicos renomados, existiam muitos outros praticantes da ciência fora das academias, que produziam conhecimento e realizavam demonstrações ao público interessado. Naquele contexto, as palestras itinerantes alcançavam um público bem diverso, composto por filósofos, mulheres da classe média em

ascensão e da aristocracia, médicos, artesãos, membros do clero, dentre outros. Muitos, estimulados pelo que ouviam nas palestras, se dedicavam à construção de novos instrumentos e à reaplicação de experimentos (JARDIM; GUERRA, 2018). Isso contribuiu tanto para a construção de um olhar diferenciado sobre o que era divulgado nas palestras, como permitiu o reconhecimento de filósofos naturais que estavam longe das academias.

As academias de ciências e, em especial, a Academia de Ciências de Paris e a *Royal Society*, exerciam um papel fundamental na produção, difusão e divulgação do conhecimento produzido na Europa (HOLENSTEIN; STEINKE; STUBER, 2013). Essas academias tinham um rígido sistema de ingresso, no qual as indicações pessoais eram importantes. Cabe destacar que mesmo aqueles que não eram membros dessas academias buscavam divulgar seus trabalhos naqueles espaços, enviando cartas para ali serem lidas.

No século XVIII, um caminho muito seguido para difusão e divulgação do conhecimento científico era a troca de correspondências escritas, caracterizando a correspondência à distância a chave para a subsistência no campo científico (BROCKLISS, 2013). A abrangência da prática de troca de cartas foi de tal ordem, que o período acabou por constituir uma grande comunidade virtual, denominada "República das Letras" (ALMÁSI, 2009).

Apesar da "República das Letras" ter como princípio a participação de qualquer indivíduo, a maior parte de seus membros integrava a elite influente da época, ou seja, eram príncipes, aristocratas, sacerdotes, advogados e médicos (BROCKLISS, 2013; BURKE, 2011). As mulheres e outros indivíduos socialmente excluídos, como os habitantes das colônias europeias, tinham participação prejudicada, visto que para entrar na "República das Letras" era necessário possuir conhecimento de latim e ter algum material, como livros e espécies, de interesse da comunidade. (DASTON, 1991; BROCKLISS, 2013).

Na "República das Letras", existia uma hierarquia entre os membros que decorria do reconhecimento alcançado e de influências acadêmicas adquiridas. Era sabido que ser reconhecido naquela estrutura possibilitava desfrutar de vantagens, como acesso a maiores informações e objetos, além de maior rapidez em receber respostas das cartas enviadas. (BROCKLISS, 2013). Para ascender dentro da "comunidade virtual", era necessária alguma mercadoria de troca como: livros, sementes, moedas, artefatos ou instrumentos" (BROCKLISS, 2013). Em geral, os grupos periféricos voluntariamente enviavam a pessoas com poder na comunidade virtual espécies não catalogadas.

Os membros da academia e aqueles que ali tinham seu trabalho reconhecido conseguiam visibilidade para suas produções, podendo as academias serem compreendidas como uma forma institucional da "República das Letras" (HOLENSTEIN; STEINKE; STUBER, 2013). O destaque da *Royal Society* à época pode ser reconhecido como um dos fatores que levou Alessandro Volta (1745-1827), um de seus membros, a enviar ao presidente da instituição, em março de 1800, a primeira parte dos resultados de seus estudos com o artefato, hoje denominado a pilha de Volta. Enquanto esperava outra carta com a última parte dos resultados para oficialmente divulgá-los à *Royal Society*, o presidente desta academia apresentou o teor da primeira carta para um pequeno grupo de associados. Dentre esse grupo, dois associados, interessados em assuntos de eletricidade, reproduziram com sucesso o aparato e conduziram novos experimentos utilizando-o, destacando um fenômeno não observado por Volta: a decomposição da água (PANCALDI, 2005). Esses associados realizaram demonstrações desse novo experimento. O professor de química Thomas Garnett (1766-1802) tomou conhecimento dessas demonstrações e apresentou o experimento da eletrólise da água a uma outra academia, a *Royal Institution*. Tal apresentação foi ainda publicada num jornal de circulação popular, o *Morning Chronicles*, que

apresentou os experimentos de Garnett, descrevendo de forma breve a pilha de Volta (CHANG, 2015).

A pilha de Volta era um aparato de estrutura simples e facilmente reproduzível, de forma que a publicação no *Morning Chronicles* permitiu que a mesma fosse amplamente replicada e divulgada antes mesmo da publicação oficial da *Royal Society* (CHANG, 2015).

Além dos aspectos destacados, o estudo do artefato da pilha de Volta à luz do estudo histórico das práticas científicas nos leva ao trabalho de Luigi Galvani (1737-1798). O italiano Galvani foi um dos que contribuiu para a controvérsia em torno da existência da eletricidade animal e seus trabalhos foram considerados por Volta nos estudos que desenvolveu sobre eletricidade. Galvani considerava existir uma eletricidade animal. Com ajuda de sua esposa Lucia Galeazzi Galvani e de seu sobrinho Camilo Galvani construiu experimentos para investigar a estimulação de nervos e músculos de rãs. Lucia frequentemente ajudava nas pesquisas do marido e nas revisões de seus textos. Isso era possível, pois ela estudou italiano e latim, além de ter participado de encontro e discussões sobre assuntos relacionados às ciências nos Salons de Bolonha. Bolonha à época se destacava pelas muitas *learned ladies,* mulheres, em posição social privilegiada como a de Lucia, que estudavam ciências e trabalhavam auxiliando parentes em ações como o desenvolvimento de experimentos. Na condição de auxiliares, essas mulheres acabaram por ocupar uma posição periférica na produção científica, e seus nomes não fizeram parte das cartas e documentos oficiais de divulgação dos conhecimentos ali produzidos. Apesar da maioria das *learned ladies* ocupar um papel periférico, encontramos nomes como o de Laura Bassi (1711-1778), que obteve título de doutorado (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

Ao considerarmos a vertente historiográfica da HCC no estudo sobre as ciências, podemos problematizar a grande

presença de homens brancos ocidentais na construção das ciências do século XVIII, além de reconhecer que para fazer ciência era fundamental participar de uma rede, capaz de não apenas divulgar o trabalho produzido, como permitir contato com outros trabalhos (JARDIM; GUERRA, 2018). Dessa forma, esse olhar permite problematizar a representatividade de determinados atores sociais, como, por exemplo, mulheres, colonos e homens do campo na produção das ciências e como tal representatividade reflete e refrata práticas culturais daquele tempo e espaço.

Nesse caminho, o estudo histórico das práticas, representações científicas, culturas materiais e visuais permite destacar que os cientistas devem regularizar seus objetos de análise para que seu conhecimento seja validado e reconhecido. Importante ainda destacar que tal regularização é feita a partir da cultura do local em que aquele trabalho científico se desenvolve (DASTON, 2017). Dessa forma, as ciências trabalham localmente e temporalmente com um empirismo coletivo, no qual os investigadores impõem a necessidade de objetos comuns e práticas próprias de análise. Essa imposição é cultural e seu significado é dado na cultura em que é estabelecido (DASTON, 2017).

Essas considerações a respeito do aporte da HCC nos levam a considerar que as ciências, assim como as culturas, não são espelhos da realidade material. Dessa forma, quando propomos o estudo histórico das ciências a partir da vertente historiográfica da HCC, buscamos produzir em aulas de ciências discussões sobre as mesmas, que possibilitem os estudantes perceberem que o conhecimento científico não se legitima por autoridade, mas por responder a questões próprias de seu tempo e espaço.

Algumas possibilidades pedagógicas

Nessa seção, apresentamos de forma sucinta alguns resultados de pesquisa empírica desenvolvida no NIEHCC, ao

investigarmos que questões sobre as ciências são levantadas em sala de aula, quando a abordagem histórica ocorreu a partir da vertente historiográfica da HCC. Apresentamos sucintamente o trabalho desenvolvido em três contextos escolares distintos. Dessa forma, a empiria ocorreu em aulas de Física de uma escola da rede Federal de ensino, junto a estudantes da terceira série de um curso integrado de informática, em aulas de Biologia, numa escola prisional feminina integrante da rede Estadual do Rio de Janeiro, e em aulas de ciências do oitavo ano de uma escola pública da rede Estadual do Rio de Janeiro. A escola Federal e a prisional situam-se na capital do Estado do Rio de Janeiro e a outra em Saracuruna, uma cidade da baixada fluminense.

Considerando a vertente historiográfica da HCC, o foco do estudo histórico estava nas práticas científicas. Em cada um dos contextos educacionais em que a pesquisa se desenvolveu o recorte histórico foi diverso e as questões oriundas da HCC diferentes. Mas em todos casos o foco esteve no estudo histórico das práticas científicas em torno ao desenvolvimento do conteúdo científico trabalhado nas aulas de ciências.

Nas aulas de ciências do oitavo ano, a pesquisa ocorreu, quando do estudo do corpo humano e, mais especificamente, da circulação sanguínea. A faixa etária dos estudantes era de 13 a 15 anos. Esses estudantes oriundos da classe trabalhadora apresentavam resistência com a leitura e escrita de textos, o que direcionou as atividades propostas pela professora nas aulas. Nesse caminho, todo o trabalho histórico desenvolvido ao largo da investigação foi promovido a partir da discussão de imagens históricas, como ilustrações históricas científicas e pinturas da época, que retratassem aspectos cotidianos das práticas científicas a serem estudadas.

O recorte histórico foi o estudo do corpo humano e, mais especificamente, o da circulação sanguínea desenvolvido no século XVII. Com base na vertente historiográfica da HCC, o enfoque foi nas práticas da dissecação e nas práticas relacionadas

à realização de medidas para o estudo da circulação sanguínea. No estudo dessas práticas, locais, como o teatro de anatomia, foram destacados, assim como problematizados quem eram as pessoas que realizavam as dissecações naquele espaço, de quem eram os corpos dissecados e quem presenciava as sessões de dissecação nos teatros de anatomia. A partir de atividades que enfocaram essas práticas, os estudantes conheceram atores sociais como parteiras, cirurgiões e açougueiros e as atividades que desenvolviam naquele contexto. A professora deu destaque à importância dos trabalhos desses atores sociais para o estudo do corpo humano, ressaltando, por exemplo, que William Harvey se baseou nas práticas dos açougueiros para abrir os animais e, também, para calcular o volume de sangue que o fígado deveria produzir de acordo com a teoria de Galeno. No estudo das práticas científicas, foi, também, destacada a cultura material relacionada ao estudo da circulação sanguínea naquele contexto, enfatizando as diferentes técnicas usadas, e que aquele conhecimento não foi produzido de forma diletante e sem uso de aparatos técnicos. Fora isso, foi discutido o alargamento dos horizontes vivenciado pelos europeus com as viagens marítimas nos séculos XV e XVI. Ressaltou-se, então, que os encontros com outras terras, outros povos, outros animais, outras técnicas foram fundamentais para os estudos científicos desenvolvidos no século XVII (MOLINA, 2017).

Ao longo dessas aulas e nas atividades desenvolvidas, a discussão das imagens, como *The Butcher's Shop* (1580) de Annibale Carracci, que retrata dois açougueiros, permitiu à professora discutir práticas desenvolvidas por atores sociais envolvidos direta ou indiretamente no estudo da circulação sanguínea. E, assim, foi possível problematizar os diferentes atores sociais envolvidos nas práticas científicas em torno ao estudo do corpo humano naquele contexto cultural. Esse estudo sugere que o ensino de ciências permeado pela HCC permitiu trazer atores sociais, não inicialmente elencados pelos estudantes, mas que no contexto tratado

eram reconhecidos devido à prática que desenvolviam e lhes concediam um caráter de autoridade, como o caso dos cirurgiões e dos açougueiros.

A partir da apresentação do teatro de anatomia e de práticas da época de divulgação do conhecimento para pares e público mais amplo, foi possível discutir com os estudantes que a atividade científica não se limita a práticas laboratoriais. Dessa forma, ressaltou-se que para a produção científica deve haver discussão, escrita, e comunicação dos resultados, de forma que práticas como a leitura e a escrita são valorizadas.

No caso da escola pertencente ao sistema presidiário feminino brasileiro, o destaque foi para a participação feminina na produção científica. A docente que encaminhou o trabalho conhecia bem o espaço educacional e as alunas integrantes do curso onde a pesquisa se desenvolveu (JAEGER, 2018). Ela reconhecia que para aquelas mulheres a problematização da condição feminina era por elas considerado algo importante. Considerando a condição feminina dessas mulheres e que o tema obrigatório das aulas de ciências era o sistema de classificação das espécies, o recorte histórico foi o desenvolvimento da Botânica nos séculos XVIII e XIX. Dessa forma, as atividades construídas para aquelas aulas de ciências foram desenvolvidas com o intuito de problematizar a participação de mulheres nas práticas científicas em torno da construção da Botânica no contexto sociocultural delimitado. Importante aqui destacar que no contexto europeu do século XVIII havia uma preocupação com a formação de mulheres integrantes da aristocracia ou da classe média em ascensão. Muitas dessas mulheres, em função da condição familiar, eram iniciadas em matérias científicas e estudavam desenho, línguas entre outras matérias (GASPAR, 2009). Essa formação desse grupo social fez com que muitas daquelas mulheres acabassem desenvolvendo trabalhos científicos, principalmente, nos campos da Botânica e Astronomia, para os quais eram fundamentais práticas à época consideradas próprias

do mundo feminino, como: observação, coleta, catalogação e representação imagética. Fora isso, essas eram práticas que podiam ser desenvolvidas pelas mulheres nos jardins das residências, como assistentes de maridos, irmãos e outros familiares, sem prejuízo de outras atividades que deveriam exercer. Nesse movimento, livros de assuntos científicos foram escritos para o público feminino. Importante destacar que esses livros, de certa forma, contribuíram para divulgar temas científicos para uma parcela da sociedade que não tinha acesso a esse conhecimento. Assim, a maioria deles, apesar de escritos no propósito de moldarem as mulheres para uma educação pautada nos valores daquela cultura, acabaram por também contribuir para um movimento oposto, de maior participação feminina nas ciências, mesmo nos campos não considerados próprios do mundo feminino.

Naquele contexto educacional, as alunas discutiram o papel das mulheres na construção da Botânica. Em sala de aula, as alunas destacaram questões a respeito do seu cotidiano e vinculadas à participação feminina nas ciências. Isso permitiu a professora problematizar as participações de diferentes atores sociais na produção da Botânica e de outros conhecimentos científicos, discutindo, ainda, que tais participações por relacionarem-se à cultura em que as ciências se produzem são questões locais e temporais e, portanto, dinâmicas, no sentido em que as ações desses atores são moldadas pelas práticas ali estabelecidas, da mesma forma que alteram tais práticas. Os debates em sala de aula colocaram em pauta que para produzir ciência em qualquer lugar e no Brasil, em particular, é importante fazer parte de certo grupo social e adquirir conhecimentos e habilidades específicas. Em sala de aula, as alunas discutiram o sistema de classificação à luz da HCC, trazendo questões de seu cotidiano e entendendo a ciência como conhecimento produzido por homens e mulheres situados em um tempo e espaço, que responde a questões importantes, mas nem por isso é um conhecimento distante da sociedade.

No caso da escola técnica pertencente à rede Federal de ensino, o trabalho foi desenvolvido em aulas de Física, quando do estudo do tema eletricidade no terceiro ano do curso integrado de Informática. Nesse caso, a maioria dos estudantes desejava ingressar numa universidade pública ao fim do curso integrado de nível médio. Em função do conteúdo obrigatório a ser trabalhado, eletricidade, e do perfil dos estudantes, o recorte histórico foi o processo de construção da garrafa de Leiden e da pilha de Volta. Quando o desenvolvimento da garrafa de Leiden e da pilha de Volta à luz da HCC foi discutido em sala de aula, práticas científicas daquele contexto se destacaram, como a troca de cartas. A utilização de troca de correspondências, como destacamos na seção 1 desse artigo, foi fundamental para a subsistência dos que se dedicavam à construção do conhecimento científico (DASTON, 1991).

Além da prática da troca de correspondência, o estudo do processo histórico de construção da garrafa de Leiden e pilha de Volta permitiu discutir outras práticas intrínsecas aos processos de comunicação, estabelecimento e validação de uma ciência dinâmica e que, como hoje, se faz coletivamente. Essa coletividade, representada na participação de diferentes atores sociais, se manifestou, naquele contexto sociocultural, na construção das técnicas de instrumentação, na popularização da ciência fora das universidades, na chamada República das Letras e nas ações das academias e sociedades científicas naquele contexto.

Com base no estudo histórico das práticas científicas foram desenvolvidas atividades que pontuaram os processos de difusão e divulgação da ciência contemporânea. A opção pela discussão de práticas relacionadas à ciência contemporânea ocorreu em função da característica do corpo discente da turma em que o trabalho foi desenvolvido. Nessas atividades, discutiu-se as práticas em torno da divulgação da produção científica entre pares, com ênfase na publicação de artigos científicos em periódicos e as práticas

estabelecidas em torno a essas publicações. Os estudantes ao longo dessas atividades discutiram a respeito da da ciência brasileira, em particular, apontando questões como: financiamento das pesquisas, modo de comunicação entre pares, aceitação do trabalho científico entre os pares, locais de produção do conhecimento, novas possibilidades de pesquisa a partir da construção de novos aparatos, relação entre sociedade e ciência. Outra questão que os resultados indicaram é que os estudantes produziram enunciados que refletiram questões referentes a problemas em relação às ciências de seu cotidiano, como o caso do corte de financiamento de pesquisas no Brasil e como isso afeta a ciência produzida.

Algumas considerações finais

Nesse capítulo, buscamos, sem a pretensão de apresentar uma regra ou estrutura a ser seguida em aulas de ciências, discutir a abordagem historiográfica HCC e que possibilidades a mesma pode agregar ao ensino das ciências. Entendemos que a HCC ao proporcionar uma análise micro do processo de construção das ciências, com foco nas práticas científicas, abre possibilidades de discussões sobre a ciência como cultura. E, assim, potencializa o conhecimento por parte dos estudantes dos diferentes atores sociais produtores e participantes das ciências, e, também, o reconhecimento dos diferentes locais de produção científica, dos modos de divulgação e difusão desse conhecimento ao longo da história.

A HCC ao nos permitir trazer às salas de aula discussões históricas que ressaltam diferentes atores sociais produtores da ciência participantes da produção científica, e não apenas cientistas, possibilitou em sala de aula a construção de debates sobre o processo de construção histórico das ciências focados em questões que se aproximaram de problemáticas dos estudantes. Essas questões evidenciadas, por exemplo, no caso da discussão feminina

na escola prisional ou na questão do financiamento das pesquisas na escola federal possibilitaram aos estudantes refletir sobre o processo de construção das ciências como algo produzido dentro de uma cultura e não superior ou destacado da sociedade. Dessa forma, foi possível ao professor discutir que as ciências por fazerem parte da cultura não podem estar restritas a especialistas. As ciências como parte integrante da cultura pertencem a todos os cidadãos.

Referências

ALMÁSI, G. The uses of humanism: Johannes Sambucus (1531-1584), Andreas Dudith (1533-1589), and the republic of letters In East Central Europe. **Brill,** v.185, 2009.

BURKE, P. **O que é história cultural**? rev. e ampl. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008.

BURKE, P. A República das Letras Europeia, 1500-2000. **Estudos Avançados**, v.25 n.72, p.277-288, 2011.

BURKE, P. Cultural History as Polyphonic History. **Arbor**, v.186, n.743, p.479-486, 2010.

BROCKLISS, L. Starting-out, Getting-on and Becoming Famous in the Eighteenth-Centrury Republic of Letters Background. In: HOLENSTEIN; STEINKE; STUBER (Org.). **Scholars in Action: the practice of knowledge and the figure of the Savant in the 18th Century**. Ed. Brill, 2013, p.71-100.

CHANG, H. The Transmission of the Voltaic Battery, Coleçao CLE 75, p.187-204, 2015.

DASTON, L. The ideal and reality of the Republic of Letters in the Enlightenment. **Science in context**, v.4, n.2, p.367-386, 1991.

DASTON, L. On scientific observation. **Isis**, v.99, n.1, p.97-110, 2008.

DASTON, L. A Economia Moral da Ciência. In Daston, L. **Historiciade e Objetividade**. São Paulo: Editora LiberArs, p.37-68, 2017

DASTON, L., GALISON, P. **Objectivity**. Brooklyn. NY: Zone Books, 2007.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.28, n.1, p.27-59, 2011.

GALISON, P. Material culture, theoretical culture and de localization. In Krige J.; Pestre D. (Eds.) **Science in the Twentieth Century.** Paris: Harwood, p.669-682, 1997.

GASPAR, A. M. **A representação das mulheres no discurso dos filósofos:** Hume, Rosseau, Kant e Condorcet. Rio de Janeiro: Uapê: SEAF, 2009.

GEERTZ, C. **A Interpretação das Culturas**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1978.

JARDIM, W. GUERRA, A. República das Letras, Academias e Sociedades Científicas no século XVIII: a garrafa de Leiden e a ciência no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.34, n.3, p.774-797, 2017.

JARDIM, W. GUERRA, A. Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica. **Revista Brasileira de Ensino de Física** (São Paulo), v.3, p.1-16, 2018.

JAGER, I. T. **Discutindo gênero com mulheres privadas de liberdade: um olhar da História Cultural da Ciência para o desenvolvimento da Botânica nos séculos XVIII e XIX**. Dissertação de mestrado defendida no Programa de pós-graduação Ciência, Tecnologia e Educação do CEFET-RJ, maio de 2018.

HENKE, A.; HÖTTECKE, D. Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. **Science & Education**, v.24, n.4, p.349-385, 2015.

HOLENSTEIN, A., STEINKE, H. e STUBER. Introduction: Practices of Knowledge and the Figure of the Scholar in the Eighteenth Century. In **Scholars in action: the practice of knowledge and the figure of the Savant in the 18th Century.** Ed. Brill, p.1-41, 2013.

MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em -temas- e -questões-. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.32, p.703-737, 2015.

MOLINA, C. A. A. **Veias Avertas: o estudo do corpo humano no ensino fundamental, a partir de uma abordagem histórico-cultural**. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciência, Tecnologia e Educação) - Centro Federal de Educação tecnológica do Rio de Janeiro Celso Suckow da Fonseca, 2017.

MOREIRA, A. F. B., SILVA, T. T. Sociologia e Teoria Crítica do Currículo: uma introdução. In MOREIRA, A. F. B., SILVA, T. T. (Orgs.). **Currículo, Cultura e Sociedade**. São Paulo: Cortez Editora, p.13-48, 2011.

MOURA, B. O que é a natureza da ciência e qual sua relação com a história e a filosofia da ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v.7, n.1, p.32-46, 2014

MOURA, C. B., GUERRA História Cultural da Ciência: Um Caminho Possível para a Discussão sobre as Práticas Científicas no Ensino de Ciências?. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.16, n.3, p.725-748, 2016.

PANCALDI, G. Volta: **Science and Culture in the Age of Enlightenment**. Princeton: Princeton University Press, 2005.

PIMENTEL, J. ¿Qué es la historia cultural de la ciencia? **Arbor**, v.186, n.743, p.417-424, 2010.

PIMENTEL, J. La Revolucíon Científica. In: Artola, M. (dir.). **Historia de Europa:** Tomo II. Madrid: Espasa Calpe, p.163-238, 2007.

RUDOLPH, J. L.; HORIBE, S. What do we mean by science education for civic engagement? **Journal of Researchon Science Teaching**, v.53, n.6, p.805-820, 2016.

HISTÓRIA E NATUREZA DAS CIÊNCIAS: ELEMENTOS IMPLEMENTADOS NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES

Thaís Cyrino de Mello Forato
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP – Diadema
thaiscmf@gmail.com

Introdução: pressupostos teóricos na construção de uma proposta formativa

Educadores, filósofos e historiadores das ciências vêm se empenhando por empreender discussões sobre a historicidade das ciências no ensino de ciências, reconhecendo os inúmeros princípios formativos que tais debates promovem (MARTINS, R. 2006, PEDUZZI, 2001, MATTHEWS, 1992; PORTO, 2010; PUMFREY, 1991). Do mesmo modo, a literatura tem sido farta em identificar desafios, obstáculos e dificuldades dos mais variados escopos e em todos os níveis de formação, assim como em propor algumas sugestões para sua superação (ALLCHIN et al., 2014; BALDINATO, 2016; FORATO, 2009; MARTINS, A. 2007).

Entretanto, resultados dessa produção teórica ou de pesquisas empíricas conduzidas por especialistas permanecem muito distantes das salas de aula reais, tanto na Escola Básica, quanto na formação de professores. Algumas revisões bibliográficas atuais mostram que pouquíssima coisa mudou nos últimos anos (AZEVEDO; SCARPA, 2017; VITAL; GUERRA, 2017), a despeito de todo empenho que vários de nossos grupos de pesquisa

vem empreendendo, no sentido de produzir material didático, implementá-lo, analisá-lo, ou mesmo em realizar propostas teóricas com recortes de episódios históricos, acompanhados por sugestões para utilizá-los em sequencias didáticas[65].

Temas já bastante conhecidos no âmbito da literatura especializada, como a quase-história (WHITTAKER, 1979), a pseudo-história (ALLCHIN, 2004), prejuízos decorrentes das visões ingênuas sobre as ciências que predominam no ambiente escolar (BRUSH, 1974; GIL-PEREZ et al., 2001), continuam praticamente ausentes no ambiente de formação dos professores. Se para os especialistas tais temas já parecem um tanto obsoletos ou óbvios, é surpreendente constatar que ainda há propagação dos mitos do cientificismo e de versões historiográficas *whigs* na grande mídia, em boa parte dos materiais didáticos e no discurso de professores e de seus formadores (ACEVEDO-DIAS; GARCIA-CARNOMA, 2016; HOETECKE; SILVA, 2011; PAGLIARINI, 2007; ROSENTALSKY, 2018). Além disso, professores em formação e em serviço manifestam dificuldades em localizar materiais históricos adequados para a Escola Básica, ou ainda, para os casos em que encontram alguns textos históricos, sentem falta de orientações pedagógicas ou estratégias didáticas para seu uso (VITAL; GUERRA, 2016; OLIVEIRA; DRUMMOND, 2015; MOURA, B. 2012; SCHMIEDECKE, 2016).

Considerando as prerrogativas e recomendações oficiais para os usos da história das ciências (HC) no ensino (BRASIL, 1996; 2002a; 2002b; 2015), assim como vários desafios explicitados pela literatura em nosso contexto educacional, um projeto de pesquisa vem conduzindo a avaliação de diferentes propostas formativas,

65 Há uma vasta lista de artigos, capítulos de livros, dissertações, teses, trabalhos completos em atas de eventos e trabalhos de conclusão de curso com tais propostas, entretanto, há ainda uma dificuldade por parte de professores em localizar e utilizar tais materiais. Nesse sentido, uma pesquisa está sendo conduzida para organizar essas fontes, seguidas por orientações de como localizá-las (Santana e Forato, em andamento).

implementadas na formação inicial de professores de ciências (física, química, biologia e matemática), na Universidade Federal de São Paulo, no campus Diadema. Tal projeto busca identificar elementos relevantes para preparar os professores para os usos da HC e da abordagem sobre a natureza das ciências (NDC) em sua futura prática profissional[66].

Alguns pressupostos foram adotados para a construção da proposta, além dos inúmeros benefícios elencados pela literatura, mobilizados pelo uso da HC no ensino:

- Pesquisas já apontaram que uma única disciplina não é suficiente para preparar o professor para os usos didáticos da HC (MEDEIROS; BEZZERRA-FILHO, 2000; MARTINS, A. 2007);
- Ainda há mitos históricos clássicos, pseudo-história e visões ingênuas sobre a ciência em materiais didáticos, na mídia em geral, no senso comum, e no discurso de formadores, professores e estudantes (BALDINATO, 2016; GIL-PEREZ et al., 2001; MARTINS, R. 2006; PAGLIARINI, 2007);
- Há pouco material didático pautado em abordagens históricas e epistemológicas em perspectiva diacrônica e crítica, que sejam de fácil acesso aos professores, e mesmo quando são localizados, há uma dificuldade para sua implementação, carência de orientações ou adequação aos diversos contextos educacionais (BORGES, 2016; MARTORANO, 2012; VITAL; GUERRA, 2016);
- Alguns conflitos entre diferentes culturas predominam nos ambientes de formação de professores quanto às concepções sobre as ciências, sua história, sua didática específica e o ensino de seus aspectos epistêmicos e não

66 Projeto Universal CNPq - 454165/2014-5: “A história e a filosofia das ciências no ensino de ciências: implementando e avaliando propostas na formação inicial de professores”.

epistêmicos, ocasionando prejuízo aos processos formativos (FORATO et al., 2011; HOETTECKE; SILVA, 2011; HOLTON, 2003);

- As abordagens críticas da HC favorecem a compreensão dos produtos da ciência como constructos humanos, influenciados por questões políticas, econômicas e culturais de contextos específicos. Tal perspectiva apresenta uma ciência não neutra, dinâmica, produtora de certezas provisórias, passíveis de reformulações, de crítica, de contestação e de substituição de teorias por novos conhecimentos (ALLCHIN, 2011; BRUSH, 1974; HABERMAS, 2006; KUHN, 1961). Ao fomentar tal abordagem, pode-se promover a criticidade, a reflexividade emancipatória e contribuir para a promoção dos direitos humanos (ACEVEDO-DÍAS; GARCIA-CARMONA, 2016; D'AMBRÓSIO, 2007; FORATO et al., 2017; OLIVEIRA; QUEIROZ, 2015).

Considerando tais pressupostos e formulando algumas hipóteses, o projeto em pauta elencou alguns pilares como base, a partir dos quais as propostas didáticas foram se desdobrando:

1. Realizar uma inserção longitudinal da HC e da NDC, ao longo da formação dos professores, de modo que os licenciandos tenham contato com abordagens históricas, em diferentes disciplinas do curso. De acordo com as características de cada disciplina, a abordagem histórica atenderia a diferentes objetivos pedagógicos. Esse primeiro pilar é a principal hipótese da pesquisa, que o projeto Universal buscou avaliar;
2. Permitir que o professor vivencie o uso da HC para o ensino e aprendizado de conceitos científicos, teorias e modelos das ciências, ao mesmo tempo em que conhece diferentes episódios históricos, ampliando seu conhecimento da história de seu campo e de diferentes aspectos

da NDC. A partir de exemplos históricos o futuro professor pode compreender a pluralidade metodológica e epistêmica das ciências (FORATO et al., 2017);

3. Preparar o professor para identificar e lidar com a pseudo-história e com as visões que reforçam os mitos do cientificismo no ambiente escolar e cultural (ALLCHIN, 2004; FORATO, 2013), evitando a perpetuação de uma educação de reprodução, que forma indivíduos subordinados, passivos e acríticos (D'AMBRÓSIO, 2007; MARTINS, R. 2006);
4. Promover atividades didáticas que permitam ao professor conhecer, avaliar e utilizar materiais historiográficos em perspectiva diacrônica e crítica, preferencialmente elaborado por especialistas, mas voltados ao ambiente educacional (FORATO et al., 2011), assim como vivenciar a prospecção de materiais e fontes históricas para construir planos de ensino, que podem ser adaptados e utilizados em sua futura prática profissional.
5. Promover a vivência da pluralidade de metodologias, de recursos didáticos e de abordagens educacionais, em ressonância com o uso da HC, avaliando a consistência teórica entre elas e as visões de ciências que fomentam.

Desse modo, um projeto formativo foi idealizado visando inserir abordagens que perpassam objetivos pedagógicos voltados ao ensino e aprendizagem de conceitos científicos, ao debate de aspectos epistêmicos e não epistêmicos das ciências e à preparação de professores para usos didáticos da HC. Conforme explicita-se ao longo do texto, essas propostas favorecem, também, a perspectiva de que tal formação contribui para a promoção dos direitos humanos (FREIRE, 1996; FORATO; MOURA, 2017; OLIVEIRA; QUEIROZ, 2013; 2015; 2016). As propostas avaliadas buscaram responder às seguintes questões:

- Como e quando poderíamos realizar a inserção da HC e da NDC?
- Que elementos poderiam orientar ações formativas?
- Em quais disciplinas? De que modo? Qual abordagem?

Desse modo, a descrição das propostas e as reflexões sobre elas, bem como pequenos extratos de resultados aqui apresentados, buscam exemplificar algumas das respostas propostas para essas questões.

Metodologias: desenvolvendo, implementando e avaliando propostas

Esta pesquisa ocorreu em um curso de formação inicial de professores, Graduação em Ciências – Licenciatura em Física, Química, Biologia ou Matemática, na Universidade Federal de São Paulo - campus Diadema. Os dois primeiros anos são comuns às quatro áreas e, nos dois últimos, os discentes optam pela especialidade, mas ainda compartilham algumas disciplinas. O projeto de pesquisa enfocou propostas implementadas no período entre 2015 a 2017, mas elas vêm sendo realizadas desde 2011.

O curso foi criado em 2010 e o aprimoramento do Projeto Político Pedagógico, bem como a revisão e construção de ementas curriculares, foi ocorrendo ao longo de seus primeiros anos, ao mesmo tempo em que a equipe docente estava sendo contratada. Isso permitiu a inserção de abordagens históricas e epistemológicas em distintos momentos (primeiro pilar da proposta), pois requereu que a proponente do projeto, autora deste trabalho, assumisse várias disciplinas ao longo do curso. Assim, foi possível implementar, observar e acompanhar algumas turmas ao longo de sua formação e avaliar propostas de HC e NDC, construídas a partir das hipóteses e dos pilares propostos. Os dados foram sendo avaliados ao longo dos anos, com diversas turmas e em diferentes disciplinas.

A metodologia da pesquisa pauta-se na análise qualitativa, tendo a pesquisadora imersa no ambiente pesquisado (LUDKE; ANDRÉ, 1986; ERICSON, 1998). A vivência favoreceu a atuação reflexiva da professora-formadora-pesquisadora (PIMENTA; GHEDIN, 2012; DEMO, 2010), amparada pela observação participante (ANDRÉ, 2010) e sistematizada com apoio das narrativas autobiográficas (PASSEGGI et al., 2011). Desse modo, em algumas passagens deste texto, as ações descritas estarão na primeira pessoa do singular, quando se referirem à essas reflexões.

Diferentes instrumentos foram utilizados para a coleta de dados, permitindo a triangulação e a visão sistêmica parte-todo (ANDRÉ, 2010): caderno de notas, textos escritos pelos estudantes, trabalhos realizados em grupo, seminários apresentados, manifestações espontâneas de estudantes ao longo das aulas e uma entrevista semiestruturada, realizada com os alunos de uma turma de Práticas Pedagógicas de Física II, em 2015. Para analisar o conteúdo das entrevistas foi utilizada a análise de conteúdo de Bardin (2000). Tal entrevista foi realizada reservadamente, por uma pesquisadora mestranda da Universidade Federal do ABC e os estudantes tiveram suas identidades preservadas[67].

A narrativa autobiográfica fundamenta o relato da implementação das propostas formativas, já manifestando reflexões, conjecturas e alguns resultados ao longo do texto.

O quadro 1 traz a síntese das disciplinas em que as propostas foram apresentadas, destacando a carga horária total da disciplina e as horas dedicadas explicitamente a temas e abordagens de história e natureza das ciências.

---

67 A transcrição da entrevista foi custeada pelo Projeto Universal do CNPq e foi objeto desta análise que realizei para este trabalho. Os aspectos éticos envolvendo os sujeitos de pesquisa, bem como o termo de livre e esclarecido previsto no Projeto, foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Unifesp, para a coleta de dados apenas na Unifesp - Diadema. A mestranda que coletou os dados realizou outras análises em sua dissertação (BORGES, 2016).

Quadro 1 - História das Ciências na Formação de Professores.

Semestre	Disciplinas	Áreas do curso	Carga Horária (Horas)	Horas para HC e NDC implícita e explicitamente	Anos de implementação dessa proposta	Pilares
3º.	Física III	4 áreas	72	52	2011 e 2012	1, 2
3º.	Integração das Ciências III	4 áreas	16	8	2012	1, 2
4º.	Física IV	4 áreas	72	46	2011 e 2017	1, 2
5º.	Práticas Pedagógicas de Ciências	4 áreas	36	8	2012, 2013, 2014	1, 3, 4
6º.	Práticas Pedagógicas de Física I	Física	72	20	2012 até 2018	1, 2, 4, 5
7º.	Práticas Pedagógicas de Física II	Física	72	30	2013 até 2018	1, 2, 3, 4, 5
8º.	Práticas Pedagógicas de Ciências à Distância	4 áreas	72	24	2013	1, 3, 5

Fonte: Autora, pesquisadora proponente do projeto e professora das disciplinas

Como se pode observar no quadro acima, foram realizadas inserções longitudinais da HC e da NDC ao longo da formação dos professores, conforme previa o primeiro pilar da proposta. Por ter participado da construção do curso, pude elaborar e implementar propostas, bem como acompanhar vários grupos de estudantes, observando até que ponto os objetivos formativos trabalhados em uma disciplina manifestavam-se posteriormente em outras aulas, em outros momentos de sua formação. Como previa a proposta, a inserção da HC e NDC em cada disciplina atendeu a diferentes propósitos formativos[68].

68 Na grade curricular do curso havia a disciplina de História da Ciência até 2018, que foi ministrada por outros docentes, com formação em Filosofia. Alguns professores de disciplinas como Mecânica Quântica ou Eletromagnetismo ou Estrutura da Matéria, dos semestres finais do curso, chegaram a utilizar artigos de história das ciências em suas aulas, mas ainda não realizamos nenhuma pesquisa para avaliar como tais abordagens dialogam com este projeto. É um plano que está em pauta em 2019, para projetos futuros.

A seguir, uma descrição sucinta das propostas implementadas por mim, assim como algumas reflexões sobre resultados, buscando também oferecer subsídios para quem tiver interesse em utilizá-las.

Vivenciando o aprendizado de ciências com a história das ciências

Nas propostas iniciais para Física III e IV, os textos com episódios de HC, escritos por historiadores das ciências, majoritariamente para o ambiente educacional, foram utilizados para ensinar conceitos de física, química, biologia e proporcionavam, também, reflexões explícitas sobre a ciência. Nesse momento, além de buscar favorecer a aprendizagem do conteúdo científico e epistemológico, os estudantes vivenciavam exemplos de como a HC pode ser usada para ensinar ciências. Portanto, a proposta enfatiza o terceiro pilar da proposta, mas perpassa os demais.

Essas duas disciplinas possuem carga horária de 72 horas, sendo 4 horas semanais, em um único dia. Há 16 horas de aulas de práticas experimentais que ocorreram no laboratório, e 4 horas em um outro dia foi reservado para trabalho de campo em um museu de ciências. Nas 52 horas restantes de aulas teóricas, nas turmas de 2011 e 2012 de Física III, por exemplo, havia alguns momentos reservados para seminários dos alunos sobre história da termodinâmica ou atividades envolvendo história da óptica. Os textos históricos estavam relacionados aos conceitos físicos que estavam sendo trabalhados e a HC surgia para contextualizá-los. Essas abordagens permitiam, também, discutir aspectos epistemológicos de sua elaboração e aspectos não epistêmicos do contexto histórico que influenciavam a ciência e eram influenciados por ela. Além dessas abordagens, havia aulas expositivas teóricas; resolução de exercícios; análise de limitações conceituais ou epistêmicas em conteúdos de vídeos do *Youtube*; de episódios

de Beakman[69]; discussão sobre visão de ciências na modelização de fenômenos a partir do uso do simulador PHET[70]; vivência de um minicurso sobre história da luz implementado na escola básica, com atividades envolvendo debates, teatro, demonstrações de fenômenos e leituras de textos. Diferentes recursos e abordagem buscavam o enfoque contextualizado dos conteúdos conceituais de física. O conteúdo histórico e epistemológico era explícita e implicitamente trabalhado e constou nas avaliações e no exame final.

Acompanhei os estudantes dessas duas primeiras turmas do curso em outras 4 disciplinas, que também foram ministradas por mim (veja quadro 1). Alguns traziam reflexões sobre a NDC espontaneamente, em diferentes situações, e a maioria dos demais apresentavam visões coerentes sobre a NDC, quando perguntados. Como professora pesquisadora, que reflete sobre a própria prática, pude observar a transferência de conteúdos para novos conteúdos, situações e contextos, o que traz a satisfação de reconhecer um aprendizado significativo acerca de uma visão reflexiva e crítica sobre as ciências (MOREIRA, 2013).

Nas disciplinas de Física IV, em 2011 e 2017, inseri abordagens metodológicas similares às das edições de 2011 e 2012 de Física III. Observei resultados que também mostravam benefícios propiciados pela abordagem da HC.

Entretanto, um resultado relevante dessas vivências foi observar uma divisão nas turmas. Boa parte dos alunos manifestou boa aceitação da diversidade metodológica nessas disciplinas

---

69 Vídeos de divulgação das ciências para pré-adolescentes, transmitidos pela TV cultura, que encantou vários dos alunos que foram cursar Ciências, segundo eles próprios.

70 Simulações interativas em Ciências e Matemática, desenvolvidas pela Universidade do Colorado, nos Estados Unidos: < http://phet.colorado.edu/pt_BR/>, acesso em 3/3/2011.

e se engajou com entusiasmo nas abordagens históricas, relatando a superação de dificuldades com conteúdos de física e matemática. Porém, havia um grupo[71] que não se interessava e dizia preferir as aulas teóricas mais próximas às tradicionais, os experimentos no laboratório e a resolução de exercícios. Isso corrobora pesquisas sobre a diversidade de perfis dos estudantes e a necessidade de mobilizarmos um pluralismo metodológico no ensino de ciências, buscando contemplar o espectro de questões com as quais lidamos em nossa prática profissional (LABURÚ; ARRUDA; NARDI, 2003).

Identificar e lidar com a pseudo-história

A proposta para a disciplina de Práticas Pedagógicas de Ciências enfatiza o terceiro pilar da proposta, além de ser fundamental para a totalidade do projeto formativo, contribuindo para os demais 4 pilares. Nos anos de 2012, 2013 e 2014, quando coordenei a disciplina e ministrei o tema da pseudo-história, 4 aulas de 2 horas foram utilizadas, do total de 36 horas do curso. Os resultados da proposta com a primeira turma foram publicados em Forato (2013).

A concepção inicial partia de uma leitura prévia Gil-Perez et al., (2001), que fundamentava a discussão do primeiro encontro, sobre as concepções *sobre* ciências, educação, aprendizagem, metodologias, recursos didáticos e avaliação. Como leitura extra sala para a próxima aula, o segundo encontro, os estudantes que optaram por biologia liam Martins, L. (1998); os de física Martins, R. (2000); e o artigo de Vidal e Porto (2007) era o indicado para os discentes de química. Na aula a seguir, eram discutidos os mitos históricos propagados em materiais didáticos e na grande mídia,

71 Alguns alunos desse grupo estavam interessados em prestar vestibular para medicina ou para o ITA, o que também influenciava em suas preferências.

e as visões ingênuas e estereotipadas que eles fomentavam. Para o terceiro encontro, a leitura de trechos de Allchin (2004) ou de Forato et al. (2011), buscavam alicerçar os debates sobre a pseudo-história e, juntamente com Gil-Perez et al. (2001), permitiam que construíssemos categorias de análise para avaliar materiais didáticos. A partir daí os estudantes preparavam uma análise da abordagem da HC em livros didáticos do fundamental II, apresentada na aula seguinte.

Os conteúdos desse processo vivido nessa disciplina surgiam em outras aulas e em diferentes oportunidades. Alguns estudantes que já atuavam como professores, ou alguns que vieram a assumir aulas, solicitavam-me material "confiável" para usarem, explicitando sua preocupação em evitar a pseudo-história. Alguns alunos foram convidados por outro docente do curso a avaliarem o conteúdo histórico em materiais de divulgação científica. Segundo o colega, as análises apresentavam fundamentação adequada para as críticas elaboradas.

Práticas Pedagógicas de Física: refletir, debater, construir e praticar

A disciplina de Práticas Pedagógicas de Física I é voltada prioritariamente para os Licenciandos em Física, e ocorrem em 4 horas aula/semana, integrando 72 horas semestrais. Essa disciplina acentua os pilares 4 e 5, e retoma os objetivos dos demais. Uma das semanas discute a NDC explicitamente, a partir das concepções sobre ciências, nos graus de liberdade dos estudantes nas práticas experimentais (CARVALHO, 2010). Outro tema em que a HC e a NDC são explicitamente trabalhadas é o da Física como cultura, a partir da interface entre Física e Arte. Debatemos os textos de Zanetic (2006) e Reis et al. (2006) a partir de seminários dos alunos e na próxima aula os estudantes ministram seminários com outros textos prospectados por eles. No terceiro encontro, os alunos apresentam planos de ensino para a escola

básica, a partir da interface entre conceitos de física e a arte. Nas aulas, são retomadas as visões de ciências e de sua construção sociohistórica, trabalhadas em outras disciplinas, avançando na complexificação desses temas. Há inclusive, um esforço por mobilizar enfoques estudados nas disciplinas de História da Ciência e Teoria do Conhecimento que ficam sobre a responsabilidade de outros docentes. Conseguimos estabelecer pontes interessantes, a partir de comentários trazidos pelos discentes, como entre a concepção crítica sobre a história da ciência de Habermas (2006) com as perspectivas historiográficas que trabalhamos.

Essa disciplina de Práticas Pedagógicas de Física I tem produzido trabalhos muito interessantes, sendo que alguns motivaram pesquisas que se tornaram Trabalhos de Conclusão de Curso em História da Ciência e outros foram apresentados em eventos científicos ou foram publicados como artigos (p.e. CARDOSO, 2014; PEREIRA; FORATO, 2014; CARDEIRA, 2015; GUILGER; FORATO, 2015; NEVES et al., 2016; FERNANDES et al., 2017).

Como em outros momentos do projeto formativo, o enfoque histórico não é unanimidade, alguns estudantes não demonstram interesse pelo tema, tampouco acreditam que o utilizarão em sua prática, mas reconhecem que desenvolveram uma visão mais crítica e reflexiva, e que é relevante saber reconhecer a pseudo-história. Apesar das críticas, os dados de 2015, apresentados na próxima seção, mostram visões bem informadas sobre os usos da HC no ensino.

As aulas de Práticas Pedagógicas de Física II, outra disciplina com 72 horas no semestre, partilham alguns temas com as aulas das Práticas Pedagógicas de Química II, quando ambas as docentes compartilham a sala de aula. Os temas comuns perpassam a NDC, contextualização, interdisciplinaridade, Ciência-Tecnologia-Sociedade e HC no ensino. Para pensar

o enfoque da HC no ensino, especificamente, consideramos os seguintes pressupostos:

- Os estudantes vivenciam a HC para ensino de conceitos científicos nas disciplinas básicas, a identificação da pseudo-história, bem como estratégias para lidar com ela nas Práticas Pedagógicas de Ciências, e, reforçam a ideia da ciência como integrante da cultura nas Práticas Pedagógicas de Física I;
- Para contemplar os pilares 4 e 5, o projeto propõe que é necessário trabalhar a prospecção de material histórico diacrônico e crítico (MARTINS, R. 2001; 2004; 2006) acerca de episódios históricos e a construção de uma proposta para abordá-lo no Ensino Médio.

As propostas para essa disciplina de Práticas Pedagógicas de Física II têm variado um pouco ao longo dos anos, mas basicamente contemplam esses pressupostos. Em 2015, iniciamos com debates sobre dois textos com enfoques historiográficos bem distintos, o que permitiu retomar a consistência entre visões sobre NDC na educação científica; dificuldades da HC como recurso didático; desafios para a seleção de material. A seguir, apresentamos cinco artigos para os estudantes conhecerem exemplos de atividades didáticas utilizando a HC, recomendando que a leitura fosse direcionada para as atividades. Em uma próxima etapa, os estudantes utilizavam o texto sobre Benjamin Franklin (SILVA; PIMENTEL, 2008) para a construção de uma proposta didática para a escola básica.

Alguns dos dados obtidos com essa turma, por meio de uma entrevista, serão apresentados na próxima seção, e destacam dificuldades e obstáculos enfrentados na formação de professores, e, por outro lado, a consistência dos argumentos que os estudantes usam, mesmo quando fazem críticas ao uso da HC na escola básica.

Práticas Pedagógicas de Ciências à Distância: onde chegamos?

A minha participação na disciplina de Práticas Pedagógicas de Ciências a Distância ocorreu apenas em sua primeira edição, em 2013. Ela ocorre ao final da graduação e foi onde pude observar a manifestação de discentes que haviam, ou não, cursado as Práticas Pedagógicas anteriores.

A maior parte da carga horária ocorria virtualmente, com a participação de docentes e estudantes. As orientações, indicação de materiais e atividades eram realizadas no *Moodle*, quando os discentes vivenciavam o ambiente virtual de aprendizagem (AVA), no qual poderiam vir a trabalhar. Fiquei responsável pelo módulo 1 da disciplina, que tinha como objetivo central promover a reflexão sobre as concepções de ciências e de matemática, as visões sobre a construção desses saberes e de seu ensino/aprendizagem. Debatemos justificativas para os enfoques sociohistóricos das ciências, bem como a sua relação com inúmeros aspectos da cultura atual. Ou seja, o módulo sob minha responsabilidade permitiu que eu fizesse uma avaliação e um fechamento para todo meu projeto de formação, por meio do qual pude observar os argumentos dos estudantes que já haviam cursado as propostas anteriores, tendo contato com os pilares propostos no projeto, aplicando-os na reflexão e na análise crítica de alguns recursos didáticos midiáticos. Isso trouxe um contraste com aqueles que anteciparam essa disciplina.

No módulo 1, iniciamos com a leitura de alguns textos sobre ensino de ciências à distância, orientada por questões norteadoras, direcionando também para a NDC. A seguir, debatemos sobre o processo de construção do conhecimento em um fórum, de modo a promovermos uma interação dialógica, mediante uma perspectiva socio-histórica-cultural. Em uma perspectiva freiriana, o diálogo foi o elemento propulsor da colaboração, em um espaço privilegiado para a construção compartilhada do conhecimento.

Uma análise de vídeos foi apoiada por questões que favorecem a reflexão sobre esse recurso midiático, bastante pertinente ao EAD.

Como nesse curso de Graduação em Ciências da Unifesp, não há pré-requisitos para as disciplinas, os debates nesse fórum constituíram-se um resultado muito relevante para o projeto. Mais do que nas outras atividades dessa disciplina, o fórum explicitou as diferenças nos argumentos entre os estudantes que haviam cursado as propostas anteriores do projeto, daqueles que não haviam tido contato com uma ou outra proposta. Alguns discentes estavam cursando a segunda graduação, haviam dispensado parte das disciplinas básicas, por exemplo, e não tinham cursado as outras práticas pedagógicas. Suas visões sobre as ciências e matemáticas eram majoritariamente ressonantes com as perspectivas criticadas por Gil-Perez et al. (2001), sobre as visões deformadas das ciências.

Ainda que se possa considerar que era esperado isso ocorrer com os alunos "novos", e que os licenciandos que vivenciaram as propostas anteriores reproduziriam o que a professora esperava obter, essa análise parece-me muito superficial. Muitos estudantes passam por temas, abordagens, conceitos e sequer conseguem manifestá-los em outros contextos, mesmo quando perguntados. Nessa disciplina, a maioria dos licenciandos, que já haviam cursado disciplinas com as propostas formativas do projeto com HC, apresentou argumentos bem fundamentados, incorporando e transferindo conceitos historiográficos e epistemológicos que haviam sido estudados em outras roupagens. Inclusive, licenciandos da biologia, que não cursaram as Práticas Pedagógicas de Física I e II, mas apenas as Físicas III e IV e as Práticas Pedagógicas de Ciências, debateram ativamente no fórum, manifestando visões epistêmicas bem fundamentadas. Não raro, conteúdos das propostas anteriores eram mobilizados. Claro que isso não ocorreu com 100% dos estudantes, mas não é exagero dizer que, naquele momento, o fórum foi um dos instrumentos mais relevantes para avaliar o projeto, revelando resultados consistentes com os pressupostos e pilares formativos do projeto.

Resultados de um recorte: com a palavra, os estudantes

A entrevista semiestruturada, gravada em vídeo, foi realizada por uma mestranda da Universidade Federal do ABC, minha orientanda à época, com 16 licenciandos de física, sendo 4 do período vespertino e 12 do período noturno, que cursaram a Prática Pedagógica de Física II, em 2015. A Análise de Conteúdo (BARDIN, 2000) foi utilizada para analisar as mensagens comunicadas nas respostas, a partir da transcrição da gravação dos vídeos.

Na análise dos dados busquei identificar elementos *a priori* e *a posteriori* que possam ter sido formativos. Ao percorrer as manifestações dos estudantes, considerei como elementos *a priori* aqueles que expressavam os objetivos e hipóteses do projeto. Por exemplo, manifestações sobre identificar a pseudo-história, saber lidar com ela, reconhecer contribuições da HC para aprender física/ciências e sobre a NDC, saber localizar material e ter ideia de como utilizá-lo. Há também elementos já bem referenciados pela literatura sobre dificuldades esperadas, como pouco tempo para aulas de física, dificuldade para localizar material, dificuldade para desenvolver propostas, receio de preconceito dos alunos, diretor, coordenador e dos pais.

De fato, tais elementos *a priori* surgiram nas mensagens comunicadas pelos discentes, assim como identifiquei outros elementos *a posteriori* ampliando os resultados esperados.

A partir da leitura flutuante na transcrição da entrevista foi possível sintetizar nove categorias. Num segundo momento, a exploração mais detalhada do material, buscando destacar unidades de registro e unidades de conteúdo, agrupei as mensagens em cinco categorias, de modo a atender às questões de pesquisa do projeto, inclusive apontando aspectos que precisam ser aprimorados:

1. Pseudo-história, mitos, historiografia: Saber identificar, problematizar, vantagens e desvantagens.

2. Contribuições da HC para a formação de estudantes e para o ensino de ciências.
3. Dificuldades na construção e/ou implementação de propostas.
4. Sugestões de estratégias didáticas.
5. Lacunas: aspectos trabalhados que não ficaram claros.

Para este trabalho, selecionei alguns exemplos de falas dos estudantes, para ilustrar algumas dessas categorias.

Na categoria 1, envolvendo o aprendizado sobre a pseudo-história, propositadamente, escolhi trechos daqueles estudantes que disseram sentir dificuldades em identificar material, em realizar propostas didáticas para a escola básica. Alguns chegam a mencionar que não se sentem preparados e que não utilizarão a HC em sua prática profissional. Entretanto, é possível observar que as críticas que fazem são bem fundamentadas e que eles próprios apresentam sugestões e capacidade de análise:

> E1: [...] pra gente não correr risco de transmitir a pseudo-história, né? A pseudo-ciência, [...] Todo lugar que você vai e tem a historinha do Arquimedes, e a gente sabe que aquilo ali é pseudo-história.
>
> E3: [...] a pseudo-história também tem uma motivação, ela vai servir pelo menos pra gente mostrar que não é certo, a forma errada de se fazer a história. E muitas vezes os livros didáticos trazem essa pseudo-história, então a gente tem também que saber aproveitar, já que ela está ali no livro.
>
> E5: Muita gente tenta passar a vida do cientista perfeito [...] O cara tirou aquilo de uma visão rápida ...
>
> E8: [...] fala sobre a dispersão que o raio provoca, mostra bem que eles atiram arpões com

fio no meio da nuvem pra estudar a descarga elétrica, a imagem é forte, mas você confronta isso com a imagem do raio... imagem do Franklin lá nos desenhos ... aí você fala pra criança "Você acha que realmente [...] aconteceu isso, ele empinou pipa no meio de uma tempestade?". [trecho em que o aluno critica a narrativa em livros didáticos, sobre o experimento de Franklin com raios].

E 4: O pai da descoberta [...] sempre fez isso sozinho. Foi por acaso [...] o ponto de vista ingênuo dos textos é demais [...].

Os outros estudantes manifestam mais confiança em saber identificar e problematizar a pseudo-história, chegando a sugerir que o trabalho crítico com os mitos históricos pode ser uma estratégia didática importante, para fomentar a criticidade do aluno.

Na categoria 2, os estudantes destacam várias contribuições da HC. Novamente, selecionei alguns exemplos dos estudantes mais críticos com relação às abordagens da HC na escola básica, pois observei que mesmo eles, reconhecem alguns dos benefícios:

E3: Ele [o professor] até sabe que é interessante, ele faz um curso, por exemplo, de história da ciência, ele vai ver que é interessante, que a história da ciência tem as características, além disso tudo que a gente falou, ela vai ajudar a reforçar um conceito, ela pode ajudar o aluno entender que a ciência ela é [..] ela pode ser feita por qualquer um, as pessoas que fizeram ciência eram pessoas comuns como nós. Então, tudo isso ele vai aprender, o professor aprende. Ele vê que é legal, ele vê que isso vai fazer uma referência para o aluno.

E6: [...] muita coisa que precisava realmente ser mostrada pras pessoas, a questão mais humana do cientista, como ele realmente

> trabalha pra poder chegar aos resultados, como eles trabalham em grupo, as críticas que eles recebem, os erros que eles cometeram [...].
>
> E7: Aí nessa aula saiu o seguinte, que a gente tem que realmente ser bem crítico em tudo que a gente lê, né? E pra você aplicar uma aula de História das Ciências, você não pode ser [...] não pode tomar o partido, como eu tomava quando eu dava aula e não tinha tido essa Licenciatura aqui né, eu venho do bacharelado [...], que é o que eu sempre acreditei, assim,: você olhava pra uma coisa da USP, da Unicamp ou de algum 'bambambã', beleza, vou acreditar né?

As dificuldades que compõem a categoria 3 são, majoritariamente, aquelas já apontadas pela literatura, pouco tempo didático, dificuldade para localizar material, para desenvolver proposta, e alguns alunos enfatizam que as propostas teóricas não são adequadas ao mundo real:

> E3: só que as propostas que a gente vê nos artigos elas são muito irreais, pra sala de aula de Ensino Médio do Ensino Público, pelo menos na escola em que eu fui fazer estágio, os colegas que já estão dando aula têm também [essa opinião].

Os discentes elaboram muitas sugestões sobre como utilizar a HC no ensino médio, compondo a categoria 4. Apresento apenas um breve exemplo, de um dos alunos mais críticos à abordagem histórica no ensino médio:

> E8: Eu acho que uma alternativa é você tentar desconstruir o mito através de um experimento. Tem a história de mergulhar a coroa na água [...] tenta replicar isso com os alunos

> com um balde, [...] A diferença ia ser muito grande. Você tenta desconstruir o mito, né. Na hora assim. [...] Mas o que for possível e se você fizer [...] talvez o do Franklin (risos de todos) você traga alguma forma de você medir a carga. Aí você fala "Oh, esse choquinho que você tomou aqui foi meio forte, num foi? 12 volts, o raio é mais de um milhão, assim, vai ser bem mais forte. Se o Franklin tivesse tomado um desses, ele teria história pra contar? Não. Tenta desconstruir, dessa forma que eu tentaria, desconstruir o mito, quebrar o mito na sua raiz. O que faz ele interessante, mas não é verdade.

Na categoria 5, as lacunas identificadas na formação dos estudantes, foi possível perceber aspectos que precisam ser melhor trabalhados. Um dos discentes expressa a dificuldade que percebi em outros alunos, a partir de perguntas e críticas que faziam durante a aula, sobre como implementar a HC na escola básica.

Essa turma não teve oportunidade de vivenciar o curso sobre história da luz que foi aplicado no ensino médio, por exemplo, como as turmas que cursaram física III em 2011 e 2012. Nesse sentido, a análise da proposta de inserção longitudinal da HC, em que acompanhei turmas que fizeram diferentes percursos, tendo contato ou não com propostas formativas do projeto, permitiu observar esses resultados diferentes. Os alunos das 2 turmas que tiveram oportunidade de vivenciar o pilar 2, o uso da HC para o ensino e aprendizado de conceitos científicos, teorias e modelos das ciências na Física III, exatamente a partir de uma proposta aplicada na escola básica, tiveram uma percepção diferente, e chegavam a utilizar estratégias daquele curso, em seus planos de ensino. Nessa turma de 2015, que não vivenciou o curso, alguns alunos tinham críticas e certa incredulidade de que isso pudesse ser feito:

> E3: A grande dificuldade, não é fazer a proposta, é imaginar como vai aplicar essa proposta nos prazos que você tem na escola. Então, essa que é a grande dificuldade, você percebe todos [...] as estratégias diferenciadas, sempre coloco lá nas minhas apresentações, todas essas estratégias diferenciadas você tem que pensar isso, quando que eu vou falar isso, quando eu vou ter um tempo pra falar isso? Eu acho que esse é o grande desafio, é a grande dificuldade. Na nossa concepção é um pequeno recorte, dá pra trabalhar muita aula, era um recorte muito pequeno, uma discussão de 10 minutos - bom pra aula - aí tem que dar outra aula, recorte pequeno, discussão de 5 minutos e vamo pra aula, só pra ir pontuando pro aluno as questões de História da Ciência. Mas mesmo assim eu acho difícil.

Esses diferentes dados reforçam a hipótese do projeto, de que a vivencia de todos os diferentes pilares agregam elementos formativos relevantes. A maioria dos estudantes dessa turma, especialmente no noturno, terminou o curso apresentando bom conhecimento da temática, de benefícios, de dificuldades, em localizar material, em preparar proposta, mas não consegui que eles vislumbrassem caminhos para a inserção da Escola Básica. Embora tenham desenvolvido propostas interessantes, a maioria achava que eram propostas teóricas, inadequadas para a escola básica. A imagem que comunicaram ainda é a de que a HC é algo mais a ser inserido, que só terão alguns minutos para isso.

É necessário realizar um empenho, para que todos os discentes possam conhecer propostas que foram implementadas na escola básica, por diferentes grupos de pesquisa e em diferentes escolas do Brasil. A turma do vespertino também apresentou algumas ressalvas, mas a maioria mostrava mais segurança para identificar e lidar com a pseudo-história e em localizar material

adequado. Quanto à implementação, dependeria do contexto educacional. Apenas um dos estudantes disse não ter interesse em trabalhar com temas históricos, preferindo outras abordagens metodológicas.

Um dos estudantes mais resistentes à HC na turma do noturno, que se posicionava como cético com relação à abordagem da HC e dizia não se sentir capaz de implementá-la, traz um enfoque inusitado, um resultado que ainda não localizamos na literatura especializada: a HC em filmes como recurso para aproximar afetivamente o aluno, o professor e o conhecimento:

> E8: "[...] e isso **vai trazer o aluno pra perto de você** [...] "o professor também vê a mesma coisa que eu" [...] toda vez que o aluno se lembrar do filme, ele vai se lembrar da situação e ele **vai se lembrar do que você disse**. O conhecimento que você passou pra ele vai tá **atrelado ao sentimento**, a **uma recompensa que ele teve quando assistiu o filme, positiva**, e vai ser uma **lembrança bem mais forte** do que se eu simplesmente falar que o raio não caiu na pipa do Franklin.
>
> [...] se o aluno só conhece a história do Franklin pelo livro, **não gera uma memória afetiva forte [...]**
>
> [...] **estreita a relação com o conhecimento que você passa pra ele**, e **sedimenta de forma muito mais forte a emoção** que ele teve quando jogou vídeo game ou viu o filme, do que quando eu falei do livro" (Grifos meus).

Assim como E8, outros discentes manifestaram uma postura cautelosa na entrevista. Mesmo os que se mostravam modestos, considerando tudo muito complexo, sentindo-se inseguros, chegam a propor outras estratégias para o uso da HC na escola básica. Ademais, vários deles reconhecem a importância dos temas em

sua formação e comentam que sua visão se tornou mais crítica para todos os assuntos que leem e que são veiculados na grande mídia e em materiais didáticos, não apenas sobre a ciência e sobre a história das ciências.

No caderno de campo, os registros indicam que o início da proposta com essa turma foi um pouco frustrante. Na primeira aula deveríamos confrontar duas narrativas históricas, mas a maioria dos alunos não leu os dois textos. Alguns deles leram apenas um texto e "deram uma olhada" no outro. Foi necessário conduzir o início da discussão de modo expositivo, para que alguns pudessem perceber as enormes diferenças historiográficas entre os dois textos.

O esforço em inserir propostas comparativas entre diferentes narrativas históricas não é motivado pela abordagem ingênua da historiografia, mas pela mensagem prejudicial que ela deixa, em geral, reforçando os mitos do cientificismo e propagando visões estereotipadas sobre os produtos da ciência.

Um dos resultados desta etapa da pesquisa é a dificuldade que esse tema impõe, pela necessidade de leitura de vários artigos, especialmente para as turmas do noturno, em que os licenciandos trabalham durante o dia e tem pouco tempo para estudos extra sala.

Refletindo sobre alguns resultados do projeto

O recorte dos dados apresentados aqui, na forma de reflexões autobiográficas e em mensagens emitidas por uma das turmas que participou do processo formativo, permite-nos exemplificar respostas às questões que o projeto pretendia responder: Como e quando poderíamos realizar a inserção da HC e NDC? Que elementos poderiam orientar ações formativas? Em quais disciplinas? De que modo? Qual abordagem?

A análise da proposta de inserção longitudinal da HC e NDC ao longo da formação inicial de professores explicitou

inúmeros benefícios formativos, assim como desafios, muitos deles previstos pela literatura e outros ainda inusitados. A descrição das propostas buscou oferecer exemplos de elementos e possibilidades, que se mostraram formativas, nas diversas disciplinas. A partir dessa vivência ao longo de oito anos, penso que foi o conjunto de ações planejadas e inter-relacionadas que promoveu a sinergia entre as abordagens, o principal elemento a contribuir para os bons resultados obtidos. Ainda que a apresentação dos dados tenha propositadamente trazido uma certa ênfase nas dificuldades, espera-se que os bons resultados, que também foram obtidos, puderam ser compreendidos.

O fato de terem sido trabalhados diferentes episódios históricos com os mesmos estudantes permitiu que eles vivenciassem exemplos da pluralidade metodológica das ciências, em seus aspectos epistêmicos e não epistêmicos, problematizando visões ingênuas ou essencialistas (FORATO et al., 2017). Ademais, foi possível mostrar que um mesmo episódio histórico recebe diferentes olhares, revelando a própria historiografia como uma atividade humana, e a construção de narrativas históricas também como uma atividade validada pela comunidade, dinâmica, contextualizada e datada. Tais discussões têm demonstrado promover a reflexão e a criticidade que extrapolam os conteúdos específicos da HC.

Observamos as críticas dos discentes ressonantes com a literatura: tempo didático requerido para um conteúdo de natureza epistemológica distinta, a cobrança dos pais com conteúdos para vestibular, a visão ingênua de que é preciso tirar física/ciências para colocar HC, falta ou dificuldade de localizar material didático adequado e falta de orientações metodológicas.

Ademais, vários licenciandos não acreditam na possibilidade de implementar HC na escola básica, mas o argumento parece ser preconceituoso ou mesmo um desestímulo para a inovação: "*pelo perfil da escola e dos alunos, eles não acompanham a complexidade*

do conteúdo", vários deles posicionam-se. Nesses momentos, foi somente pelo fato de eu ter vivenciado a implementação de uma proposta complexa, em uma escola pública da periferia de São Paulo, discutindo sobre entes inobserváveis na ciência, o éter luminífero e as teorias sobre a natureza da luz no século XIX, que pude contra-argumentar (FORATO, 2009). Isso ressalta uma das dificuldades dos docentes formadores. Quantos puderam ter essa experiência?

Um problema que o projeto apontou, reforçando e ampliando o que a literatura já mostrou, é o desafio para o docente formador, quanto às abordagens da HC na formação de professores. Ao longo desses oito anos de implementação das propostas formativas no curso de Graduação em Ciências, em inúmeras turmas, foi possível vivenciar diferentes requisitos para o docente, além dos elementos já previstos para o formador de professores, na literatura já mencionada: Compreender e lidar com as fronteiras sobrepostas dos campos da ciência, da didática das ciências e da história e epistemologia das ciências, especialmente quando se busca a formação do professor reflexivo e pesquisador. Não se trata de apresentar receitas para o uso da HC, uma vez que elas não existem. Cada proposta é uma construção peculiar, para contextos singulares, mas essa reflexão autobiográfica aponta elementos implementados, alguns sucessos e desafios.

Desse modo, apesar de bons resultados do projeto formativo como um todo, reforçando a proposta dos pilares inseridos longitudinalmente no curso, e de resultados parciais em cada proposta, é preocupante constatar que nós, docentes formadores, temos muitos desafios a superar, especialmente aqueles que não tiveram essa formação temática em seu percurso de preparação como pesquisador. A despeito dos inúmeros resultados animadores que temos presenciado, muitos dos quais não foram apresentados aqui, um grande desafio é que tais iniciativas possam ser implementadas por outros formadores de professores, além daqueles que realizam pesquisas específicas nessa linha. No contexto do

curso de Graduação em Ciências, da UNIFESP-Diadema, temos lidado com esses desafios estabelecendo parcerias entre os docentes, que vão desde a troca de materiais, até a participação em aulas de diferentes disciplinas.

Conhecer e compreender diferentes propostas implementadas na escola básica mostrou-se uma estratégia interessante, ainda mais quando agregada à possibilidade de os estudantes terem contato com a HC e a NDC em diversos momentos e disciplinas. Ao longo de sua formação, foi relevante este projeto ter mobilizado discussões teóricas, promover a vivência de elementos da futura prática profissional, avaliando materiais didáticos, localizando material adequado e preparando propostas didáticas, com enfoques na HC.

Quando outros docentes assumiram algumas dessas disciplinas, algumas propostas foram adaptadas e outras mantidas quase na íntegra. As mudanças ocorreram em função do perfil de cada colega e de suas respectivas linhas de pesquisa, contribuindo para ampliar o escopo da proposta. Essas análises serão objeto de outros trabalhos.

Um outro desdobramento conjecturado é a criação de uma disciplina que perpasse os objetivos formativos propostos pelos pilares do projeto. Certamente que não se pretende solucionar o problema da preparação de professores para os usos da HC, mas reforçar um empenho que deve ser pactuado e empreendido por diferentes docentes que atuam em um curso na formação de professores, em diferentes disciplinas e contextos.

Referências

ACEVEDO-DÍAZ, J. A.; GARCÍA-CARMONA, A.. «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencia***s*, v.13, n.1, p.3-19, 2016.

ALLCHIN, Doulgas. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, v.13, n.3, p.179-195, 2004.

ALLCHIN, Douglas. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v.95, n.3, p.518-542, 2011.

ALLCHIN, Douglas; ANDERSEN, Hanne; NIELSEN; Keld. Complementary approaches to teaching nature of science: Integrating student Inquiry, Historical Cases, and Comtemporary Cases in the Classroom Practice. **Science Education**, v.98, n.3, p.461-486, 2014.

ANDRÉ, Marli. (Org) **O papel da pesquisa na formação e na prática dos professores**. Campinas: Papirus, 2010.

AZEVEDO, Nathália Helena; SCARPA, Daniela Lopes. Revisão Sistemática de Trabalhos sobre Concepções de Natureza da Ciência no Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)**. v.17, n.2 (2017): Maio-Agosto.

BALDINATO, José Otávio;. PORTO, Paulo Alves. Michael Faraday e A História Química de Uma Vela: Um Estudo de Caso Sobre a Didática da Ciência. **Química Nova Na Escola**. n.30, NOVEMBRO DE 2008.

BALDINATO, José Otávio. **Conhecendo a química: um estudo sobre as obras de divulgação do início do século XIX**. Tese de Doutorado em Ensino de Química. São Paulo: IQ-IF-IB-FE. Universidade de São Paulo, 2016.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo** *[1977]*. Lisboa: Edições 70, 2000.

BRASIL. Conselho nacional de educação. Conselho pleno. **Parecer CNE/CP 009/2001, de 8 de maio de 2001**. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. 2001.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+**. Ensino Médio. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002b.

BRASIL. CONGRESSO NACIONAL. CÂMARA DOS DEPUTADOS Ministério da Educação. LEI DE DIRETRIZES E BASES DA EDUCAÇÃO NACIONAL (LDB), Brasília: MEC: Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, Atualizada até 19/3/2015, 11. ed., 2015.

BORGES, Danielle Beatriz de Souza. **A construção de uma abordagem histórica para o ensino de termodinâmica: Sadi Carnot e o estudo da Máquina Térmica**. Dissertação de Mestrado em Ensino, História e Filosofia das Ciências e Matemática. Santo André: Universidade Federal do ABC, 2016

BRUSH, S. G. Should the history of science be rated X? **Science**, v.183: 1164-1172, 1974.

CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. **Formação de Professores de Ciências-Tendências e Inovações**, São Paulo: Cortez, 2001.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula. *In:* SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M (Orgs.). **A pesquisa**

em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias. Unijuí: Ed. Unijuí, 2006, p.13-48.

CARDEIRA, Franscisco Aparecido. **O uso do gás hidrogênio: dos aeróstatos aos ônibus da EMTU/SP e uma proposta para o ensino de ciências**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências) - Universidade Federal de São Paulo, 2016.

CARDOSO, César. **Ensino de Física na Escola Básica: Abordando a História da Ciência no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências) - Universidade Federal de São Paulo: 2015.

CLOGH, Michael; OLSON, Joanne. Teaching and assessing the nature of science: An introduction. **Science & Education***,* v.17, n.2-3, p.143-145, 2008.

D'AMBRÓSIO, Ubiratan. **Educação para compatibilizar desenvolvimento e sustentabilidade**. Desenvolvimento e Meio Ambiente. Editora UFPR, v.15, p.11-20, jan./jun. 2007.

DEMO, P. **Educar pela pesquisa**. 4. ed., Campinas: Editora Autores Associados, 2000.

ERICSON, F. Qualitative research methods for science education. *In*: FRASER, B. J. e TOBIN, K. G. (Orgs.). **International Handbook of Science Education**, Part One, Kluwer Academic Publishers, 1998.

EL-HANI, Charbel N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciênciana educação científica de nível superior. *In:* SILVA, C. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências. Subsídios para**

aplicação no Ensino. (p.3-21). São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2006.

FERNANDES, Rubia.; PIRES, Flaviston ; FORATO, Thaís C. M. ; SILVA, JOSÉ A. Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de mecânica quântica no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.34, p.509-529, 2017.

FORATO, Thaís C. M.; BAGDONAS, Alexandre; TESTONI, Leonardo. Episódios históricos e natureza das ciências na formação de professores. **Enseñanza de las ciencias - Digital**, v. extra, p.3511-3516, 2017.

FORATO, Thaís. C. M. Preparação de professores para problematização da pseudohistória em materiais didáticos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. Extra, p.1316-1321, 2013.

FORATO, Thaís C. M. ***A Natureza da Ciência como Saber Escolar: um estudo de caso a partir da história da luz.*** Tese de Doutorado em Educação. São Paulo: FEUSP, 2009. 2. vols.

FORATO, Thaís C. M.; GUERRA, A. ; BRAGA, M. . Historiadores das ciências e educadores: frutíferas parcerias para um ensino de ciências reflexivo e crítico. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v.7, n.21, p.137-141, 2014.

FORATO, Thaís C. M.; MOURA, B. A.. Introdução. História e Epistemologia das Ciências na formação de professores. In: Breno Arsioli Moura; Thaís Cyrino de Mello Forato. (Org.). **Histórias das Ciências, Epistemologia, Gênero e Arte. Ensaios para a formação de professores**. 1ª ed. Santo André: Editora da UFABC. 2017, v. Único, p.1-10.

FORATO, Thaís C. M; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto De Andrade. Historiografia e natureza da ciencia na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.28, n.1, p.27-59, 2011.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 42ª. reimpressão. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALIS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação** v.7, n.2, p.125-153, 2001.

GUILGER, F. J. ; FORATO, T. C. M. . A Divina Comédia de Alighieri e o geocentrismo medieval na Escola Básica. In: **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2015, Uberlândia. Enfrentamentos do Ensino de Física na Sociedade Contemporânea.** Uberlândia/ São Paulo: UFU, UFTM, SBF, 2015, v.1, p.1-8.

HABERMAS, J. Conhecimento e interesse. In: HABERMAS, J. **Técnica e ciências como"ideologia"**. Lisboa: Edições 70, 2006, p.129-147.

HÖTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibelle Celestino. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. **Science & Education** v.20, n.3, p.293-316, 2011.

HOLTON, Gerald. What historians of science and science educators can do for one another? **Science Education** v.12, n.7, p.603-616, oct. 2003.

KRAGH, H. **An introduction to the historiography of science**. Cambridge: Cambridge U.P, 1987.

KUHN, T. A **The Structure of Scientific Revolutions**.: Chicago: University of Chicago Press, 1962.

LABURU, Carlos Eduardo; ARRUDA, Sérgio de Mello; NARDI, Roberto. Pluralismo metodológico no ensino de ciências. **Ciência & Educação**. v.9, n.2, p. 247-260, 2003

LÜDKE, M. A complexa relação entre o professor e a pesquisa. *In* ANDRÉ, M. (Orgs.). **O papel da pesquisa na formação e na prática dos professores**. 11. ed. Campinas: Papirus, 2010.

MARTINS, André F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física** v.24, n.1, p.112-131, 2007.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história da ciência e seus usos na educação. *In* SILVA, CIBELLE C. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MARTINS, Roberto de Andrade. Ciência *versus* historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Educ; Fapesp; Editora Livraria da Física, 2004, p.115-145.

MARTINS, R. de A. Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.23, n.1, p.113-129, 2001.

MARTORANO, Simone A. **A transição progressiva dos modelos de ensino sobre cinéticaquímica a partir do desenvolvimento**

histórico do tema. Tese de Doutorado em Ensino de Química. São Paulo: IQ-IF-IB-FE. Universidade de São Paulo, 2012.

MATTHEWS, Michael R. History, philosophy and science education: the present reapproachment. **Science & Education**v.1, n.1, p.11-47, 1992.

MEDEIROS; A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino da física. **Ciência & Educação** v.6, n.2, p.107-117, 2000.

MOURA, Breno Arsioli. **Formação crítico-transformadora de professores de Física: uma proposta a partir da História da Ciência**, 2012. Tese (Doutorado – Ensino de Física) – Faculdade de Educação, IF, IQ, IB, FE. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

NEVES, Defferson R. M.; PEREIRA, Bianca A.; PEREIRA, Sabrina A.; FORATO, Thaís C. M; BIANCO, A. The Wiechert, Kaufmann and Thomson experiments on the charge/mass of the particles of the cathode rays. In: **1st European Regional IHPST Conference, 2016, Flensburg, Germany.** Online Publication - Abstracts. http://ihpst.clubexpress.com/: IHPST, 2016.

OLIVEIRA, Denize C. de. Análise de conteúdo temático-categorial: uma proposta de sistematização. **Revista de Enfermagem da UERJ**, v.16, n.4, p.569-576, out./dez., 2008.

OLIVEIRA, Roberto D. V. L.; QUEIROZ, Gloria R. P. C.. **Educação em Ciências e Direitos Humanos: reflexão-ação em/para uma sociedade plural.** Rio de Janeiro: Editora Multifoco, 2013.

OLIVEIRA, W. C.; DRUMMOND, J. M. HIDALGO F. Refletindo sobre desafios à inserção didática da História e Filosofia da Ciência em oficina de formação docente. **Alexandria (UFSC***)*, v.8, p.151-179, 2015.

PAGLIARINI, Cassino Rezende. **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didácticos de física para o ensino médio.** Dissertação de Mestrado em Física Básica. São Carlos: IF. Universidade de São Paulo, 2007.

PASSEGGI, Maria da Conceição; SOUZA, Elizeu Clementino De Souza;; VICENTINI, PAULA PERIN. Entre a vida e a formação: pesquisa (auto) biográfica, docência e profissionalização. **Educação Revista**. v.27 n.1, Belo Horizonte Apr., 2011.

PEDUZZI, L. Sobre a utilização didática da história da ciência. *In*: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora UFSC, 2001.

PEREIRA, A. K. S; FORATO, THAÍS C. M. Uma proposta para o ensino contextualizado de Hidrostática. Em: **XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, v. online, p.1-8, 2014.

PERON, T; GUERRA, Andreia ; FORATO, Thaís C. M. Linha do Tempo: controvérsia entre a contextualização de episódios históricos e a imagem da construção linear da ciência. In*:* **XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2012, Maresias. Atas do XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Maresias: SBF, 2012, v. Único. p.1-9.

PIMENTA, S. G.; GHEDIN, E. (orgs.). **Professor Reflexivo no Brasil: gênese e crítica de um contexto**. 7. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2012.

PORTO, P. A.; “História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade”. *In:* SANTOS, W. L. P. & MALDANER, O. A. (org.), **Ensino de Química em Foco**, Ijuí: Editora Unijuí, 2010, p.159-180.

PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and their aims. **British Journal of History of Science** v.24, n.1, p.61-78, 1991.

REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.. 2006: Ciência e arte, relações improváveis? **História, ciências, saúde - Manguinhos**. v.13 – suplemento, p.71-87, 2006.

ROSENTALSKY, Evandro Fortes. **Indo além da natureza da ciência: o filosofar sobre a Química por meio da ética química.** 2018. Tese (Doutorado em Ensino de Química). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SANTOS, M. E. Encruzilhadas de mudança no limiar do século XXI: co-construção do saber científico e da cidadania via ensino CTS de ciências. In: II Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências. **Atas...** Valinhos, v.2, 1999.

SCHMIEDECKE, Winston Gomes. **A história da ciência nacional na formação e na prática de professores de física.** Tese de Doutorado em Ensino de Física. São Paulo: IF. Universidade de São Paulo, 2016.

VITAL, Abigail; GUERRA, Andreia. A implementação da história da ciência no ensino de física: uma reflexão sobre as implicações do cotidiano escolar. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências (online**), v.19, p.1-21, 2017.

VITAL, A.; GUERRA, A. Textos para ensinar física: princípios historiográficos observados na inserção da história da ciência no ensino. **Ciência & Educação**, v.22, p.351-370, 2016.

VILLANI, A.; PACCA, J. L. A.; FREITAS, D. Science Teacher Education in Brazil: 1950-2000. **Science &Education** v.18, n.1, p.125-148, 2009.

WHITTAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education – Part 1. **Physics Education** v.14, p.108-112, 1979.

ZANETIC, João. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. **Pro-Posições**, v.17, n.1 (49) - jan./abr. 2006.

BECOMING CURIOUS SCIENCE INVESTIGATORS THROUGH RECREATING WITH HISTORY AND PHILOSOPHY

Elizabeth Cavicchi
Massachusetts Institute of Technology (MIT)
e.m.cavicchi@gmail.com

Introduction

Our curiosity induces us to move into the unknown, to look closer at something and investigate. Curiosity figures in historical and modern practice of science, such as Galileo's motion studies (GALILEI, 1967). This investigatory capacity develops gradually as we interact with the world around us.

Twentieth century psychologist Jean Piaget chronicled this developing process by observing his infants from birth. For example, at 10 months age, Laurant picked up a soap and let it go repeatedly, attending to its disappearance from his hands, but not regarding the soap's next displacements. Two weeks later, his attention had shifted to the released object. Watching its motion, he looked for where it fell, and picked it up, if it fell within his reach. Two days later, while seated in a high chair, Laurant recurrently let items drop off its tray, casting them in differing directions, and craning his body around to see the fall and where something landed. At a year, Laurant's investigatory practice had expanded: he released anything that came to hand, from various positions and heights "in order to study their trajectory" (PIAGET, 1952, p.268-270). By dropping toys repeatedly in different settings and watching

trajectories, the child began demonstrating predictions of free fall through his actions to retrieve the dropped toys"discovery of new means through active experimentation" (PIAGET, 1952, p.263).

Curiosity, such as Laurant exhibited in releasing objects, watching their fall, and varying his methods of release and search, is the investigatory means by which science liberates humanity from subjugation under physical and authoritarian controls, in the analysis of US philosopher John Dewey. The scientific outlook, with its response to wonder, openness to exchanging ideas and experimental testing, is a grounding for the practice of democracy, where all perspectives are valued and no individual has more status than anyone else. Yet while curiosity is upwelling in infants like Laurant, it dissipates when children's actions are under constraints, such as are typical in schools. A populace lacking in curiosity leaves people susceptible to manipulation, disinclined to question or to critique their surroundings.

Democracy is fostered through the curiosity of its diverse participants, as they share and develop insights and questions in community. Countering schooling's typical outcome, which erodes children's inherent curiosity, Dewey advocated for an education that nurtures their curiosity. In speaking on the agency of education in bringing about a democratic society, Dewey argued:

> We must develop the scientific attitude — keeping the curiosity alive and directing it into fruitful channels. What we need is the type of education that will start very early to develop the spirit of inquiry, of willingness to weigh the evidence, of experimentation— in short, the scientific spirit (DEWEY, 1935, p.580).

Dewey saw the experience of doing research, of scientific experimentation, as a means of bringing learners to interact with each other and what they study, without being subject to such

controls and the exercise of privilege. The act of being investigatory bears authenticity – learners are asking questions grounded in experiences that they develop. Amid engaging with learners who are co-investigators, the ideas expressed by anyone become available to all to be questioned and tested. By putting ideas to actual tests, learners stand to expose failings and uncertainties in what they think and do:

> the whole cycle of self-activity demands an opportunity for investigation and experimentation, for trying out one's ideas upon things, discovering what can be done with materials and appliances (DEWEY, 1916, p.311).

Genuine investigation bears the risk of unsettling authoritarian claims. Investigative work has no space for assertions that certain ideas are to be accorded special status that preempts their full examination on the same investigative grounds as every other intellectual offering. As students collaborate with co-investigators in mutual concerns and pursuits, take up multiple perspectives and come to revise prior outlooks, they are enacting democracy (DEWEY, 1916, p.92-3).

In response to Dewey, I look to trust curiosity as a means of learning for me and my university level students. In the seminar I teach, investigations arise as students consider their own observations alongside materials from historical science and philosophy. The clinical methodology of Piaget (1960) and Inhelder (1974), adapted by Eleanor Duckworth (2006a, 2006b, 2006c) in the research pedagogy of clinical exploration in the classroom, provides the neutral, safe conditions requisite for learners and teacher in embracing the uncertainties and spontaneities that are intrinsic to genuine investigation. These experiences bring us, learners and teacher, together with historical companions in pursuing the science, education and work of our world.

Seminar context

Titled "Recreate Historical Experiments: Inform the Future with the Past", the seminar that I teach at MIT's Edgerton Center is an elective open to undergraduate and graduate students of any field of study. Past participants have included first-year students with no declared major; undergraduates in a field of engineering, science or economics; masters' students in earth science, education or teacher education; and doctoral students in education or engineering. The teachers or teachers-to-be often choose to take this seminar as a means of experiencing exploratory teaching and learning, in this case, of critical exploration in the classroom. Teachers and teachers-to-may be involved with another institution; they come to this class as an educational alternative. Those seminar students who are in science, engineering or some other area, may not have an interest in teaching. They may be attracted to the seminar's historical science theme and hands-on activities. For these science and engineering students, encountering the unknown in a classroom is an unusual experience that prepares them to face and resolve uncertainties in their future work, in ways they have not been encouraged to pursue before. For teachers-to-be, seminar explorations are provocative for understanding education; they may come to consider these explorations as preparation for teaching.

Class experiences evolve differently each term, with themes and investigations arising interactively among students and me (CAVICCHI, 2011; 2012; 2013; 2014; 2018). This paper relates from how one class, all of whom were graduate students, engaged in historical science, philosophy and arts. This class observed the sky in and out of class, worked with the astrolabe, and discussed readings from ancient astronomy (KEPLER, 1967; SHEN KUO, 2008; ALHAZEN, 1990; SACROBOSCO, 1485; 1532; 1626; THORNDIKE, 1949) to 20th century astronomer Cecilia Payne-Gaposhkin (1984). With fur, silks, balloons, electrophorus and

Wimhurst machine, we explored electrostatic effects described by Gilbert (1600) and Gray (1731-2) and others. We discussed excerpts from John Dewey (1916, 1934) and Jean Piaget (1976) and created experiments in response to these writings. Inspired by seeing marbled endpapers in historical books, we did paper marbling ourselves in class (ARTFUL PARENT, 2017). The class read aloud their own enactments of Galileo's *Dialogue* (2008), Brecht's *Life of Galileo* (2008), and a passage from Marquez (2008) *100 years of Solitude*.

Classroom investigative experiences often originate in a reading or example from history and philosophy. I continually expand the readings and links as the grounds or themes arise – including those suggested by students. In response to the historical or philosophical material, a classroom activity that I did not expect arises. I encourage the investigation in that moment. In subsequent sessions, I support some further extensions of the students' experiences, through providing time for group discussion and review, and through extending the materials and contexts for their activities.

There is no pre-set syllabus. Our activities come about in the moment and in relation to materials and instruments that I introduce and prepare. As I continually research and document these sessions, I prepare daily summaries for my students; these summaries illustrate, excerpt, and demonstrate how learning emerges as we explore together. From researching these records, I developed the narratives related here, as a way of sharing the voices, perplexities and wonder by which learners discover and express curiosity.

Awakening curiosity, encouraging its expression, and sustaining it through whatever may arise in the course of an investigation, is a dynamic process. The teacher is together with students in discovering their curiosity and seeking ways for its development and action. What emerges bears out the educational productivity of trusting curiosity.

Exploring Instruments

At the first meeting of one semester, I placed four historical science instruments on the table about which the class was sitting. I invited the students to investigate together. The instruments included a strobe flash unit from the 1940s, a revolving multiple mirror unit invented by Elmer Ambrose Sperry for A. A. Michelson's speed of light experiments in the 1920s (HUGHES, 1976) and a brass astrolabe modeled on the instrument described by Chaucer (2002). I did not identify any of these instruments, although I provided a laser pointer, balloons, tools and other materials that facilitated working with these unknown instruments.

As the students encountered each other, and the instruments, for the first time, curiosity and questions abounded and evolved into experiments. Student TJ shone a laser pointer at the unit which contained multiple revolving mirrors. Collaboratively joining him, someone turned off the room lights and Jinwen moved a white paper around, to see if she could catch the laser light bouncing off a mirror. After Laura spotted where the laser's light landed on the paper, saying "I see it", TJ set the unit spinning. He asked if they could tell how fast the mirrors were turning. Upon substituting a cellphone light for the laser pointer, broad patches of light appeared and disappeared on Jinwen's paper. Laura exclaimed "it is almost a strobe! Spin it fast!" A means of addressing TJ's question emerged in how the increasing or decreasing pace of the light patches correlated with the rate of spinning of the mirror device. Laura and TJ considered that the instrument might provide an accurate timing or measure. Noticing the name A.A. Michelson on a label on the device and remembering Michelson's research to determine the speed of light, TJ wondered if it was involved in that research.

In exploring this unknown device, the students initially responded to one of its many mirrors by probing with a laser,

seeking and identifying its reflection. But the instrument and its mirrors remained static until TJ found a way of setting the rotary mirror unit spinning. Now the laser reflected off each mirror in succession, as it turned past. Use of the cellphone's white light, in place of the laser pointer, accentuated the flashing effect. By likening that effect to a strobe light, Laura inferred the function of the instrument that connected to its inclusion among the apparatus collected by strobe pioneer "Doc" Harold Edgerton, in whose labs our class meets.

While holding the brass astrolabe (as yet unidentified) in their hands, the students were intrigued by the archaic lettering, revolving parts and representation of stars. They conjectured it was to help in finding north.

Having assigned readings on the astrolabe (NORTH, 1974; LIUNI, 2016), at our second session, I invited the class to examine several astrolabes including: an astrolabe of 18 inches diameter, laser-cut from a template (MORRISON, 2010), two 8 inch diameter astrolabes composed of paper and plastic sheet, and the brass astrolabe which was among the unknown instruments at our first class meeting. Intense consideration arose of the instrument, one held in everyone's hand. On the surface markings of one instrument, Gary and TJ identified stars of northern constellation Ursa Major. Looking closely, they came to interpret the North Star as represented by the center pin of the revolving plate marked with stars. Seeing how numbers around the instrument's rim cycled twice from 1 to 12, Gary asked "Did they use a 12 hour clock?"

Amid these collaborative observations of the astrolabe, we were joined by our guest, my former student, architect Francesca Liuni. Francesca shared her spatial and poster exhibit on the astrolabe (LIUNI, 2016; 2017). Francesca's work invites us to contemplate the bounded spherical universe inhabited by the historical users of the astrolabe, in contrast to our present universe of indefinite extent. Where the astrolabe surface is two dimensional,

Francesca's architectural work is sculptural and three dimensional. The students considered how it could be that the three dimensional sphere of the heavens comes to transformed into the plane of the astrolabe. Francesca's architectural diagrams projected the sphere universe onto the planes of plan and cross-section. Emulating the diagrams, a student drew circles of longitude on a clay ball with a marker. Smashing the clay ball, the flattened markings resembled the astrolabe's grid lines.

Moving between 2-D and 3-D in Depictions of Heavens as a Sphere

The following week, as an example mediating the sphere of the heavens and the astrolabe's plane, I arranged for a visit to the school archives to view three early printings of a medieval work, Sacrobosco's*On the Sphere* (SACROBOSCO, 1485; 1532; 1626). The illustrations – and the historical volumes – evoked curiosity, wonder, and realization from two students, Summer and Gary.

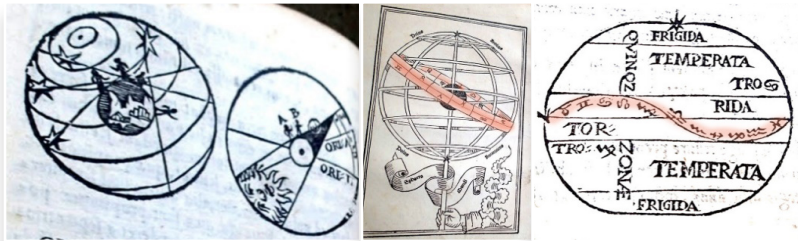
Touching the historical pages with their own hands was awesome for them. Summers' gasp at the beauty of the Sacrobosco's endpapers inspired me to develop a later session doing the craft of paper marbling. While the paper marbling activity was new and daunting for me to undertake to set up, the students were intrigued in the drama and beauty of the effects and patterns that they produced on paper[72].

Seeing people portrayed standing on a circle representing earth's surface, radially oriented – appearing upright near the pole, and sideways near earth's equator (Figure 1, left), Summer, a Harvard education student from China, expressed her deep wonderment that ancient peoples realized the sky was the same, in China and Europe. Gary, a student in MITs Advanced Study program, asked whether ancient China had analogues to

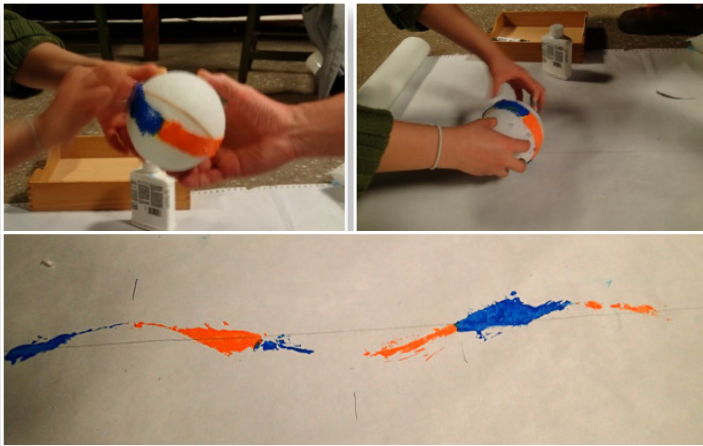
72 Artful Parent (2017). 6 Easy Ways to Marble Paper. https://artfulparent.com/how-to-marble-paper/

constellations. Later, we viewed star charts of medieval China (Needham, 1954) and Orion rendered as a boar trap among indigenous people of the Philippines (AMBROSIO, 2010), shared by classmate TJ.

Two diagrams figured in the activity that arose as a development from our viewing of the volumes of Sacrobosco's astronomical work. One (Figure 1, middle)), Sacrobosco's frontispiece, evoked Summer's exclamation: "a god hand revolves the universe like a toy!" The other diagram (Figure 1, right) depicts sun's path in that universe as a tilted band (here colored in red), is overlaid on a two-dimensional portrayal, where regions of the earth are depicted in relation to it.

Figure 1. Left: People standing upright, approximately radially, on a circle that depicts the earth, within a larger circle that represents the sphere of the heavens. Middle: Sacrobosco's frontispiece, where a "God hand" revolves the heavens around the central black ball of earth. The sun's path is represented by the zodiacal band, highlighted in red. Right: The sun's path across a year (highlighted in red) is overlaid on a two-dimensional diagram of earth

Back in the classroom that afternoon, we resumed with an ongoing project of producing geometrical constructions on paper by following Euclid's *Elements* (EUCLID, 2002). Gary brought out a large paper, from his other class, marked with a Spirograph. His sense of its relation to our astronomy provoked me to a possibility I had not envisioned before: creating our own version of

Sacrobosco's universe diagrams! I gathered potential materials while Gary and Summer viewed digital reproductions of the two illustrations that intrigued them (Figure 1 middle and right). One represents earth and heavens as a sphere; in the other, the earth is flattened on a plane.

Figure 2. Left: applying blue and orange oil paint to the Styrofoam ball [representing earth], along a band that represents the zodiacal path of the sun. Another band on the ball represents the equator of earth. Middle: rolling the ball onto a sheet of paper, marked with a straight line. The ball is rolled so that the equator band matches up with the line on the paper, as it is rolled along. Right: the curve produced on the paper, by rolling the ball marked with paint. The curve resembles the zodiacal line in Figure 1 right.

The project emerged of going from a physical 3-D sphere – a large Styrofoam ball- to the 2-D plane. The styrofoam ball was encircled with rubber bands. One rubber band served as an analogue to the equator. A different rubber band, tilted with respect to the equator, represented the zodiacal band. Oil paint was dabbed on the rubber band of the zodiac by Summer (Figure

2, left). In the process of applying the paint, she initiated the idea to divide the paint in 4 parts, using two colors of paint, blue and orange. Rolling the ball's rubber band equator along a penciled line (Figure 2, middle), evoked suspense: how would the paint on zodiacal band mark the paper? The painted dots that were produced exhibited a curve that dipped above and below the pencil line of the equator. Gary interpreted the painted curve (Figure 2, right) as the year. Its crossings with the pencil line were equinoxes; solstices at its peak and dip.

Saying he was surprised by the day we examined a globe of the earth in class, with its support showing the earth's tilt, Gary proposed to place the zodiacal band at a yet more extreme angle (as compared to the equator rubber band). To this curiosity, Summer added her own innovation: to place paint dots at 12 positions along the band, in analogue to zodiac, and in alternating blue and orange colors. On Gary's first roll, only the dots nearest the equator marked the paper. Upon repositioning the rubber band equator at a lesser angle from the band, a few more dots hit the paper. Exclaiming that it made sense, Summer drew in the curve's missing parts with a pencil.

In reflecting on this activity, with the astrolabe alongside her, Summer wondered if the peoples who invented it, and Sacrobosco's book, believed that the sun moves, not the earth. Her contemplation reveals the depth to which these investigations move her thinking, as she comes to experience and express historical perspective differing from ours. Extending that perspective-taking to the entire solar system, Gary wondered, "What if we made 8 astrolabes, one for each planet?" Wonderment emerges about the scale of the solar system in the universe.

In this example, the students' curiosity with Sacrobosco diagrams opened into recreating history, and their own understandings of it and the universe. Further investigations interweaving space and history, experience and observation, included observing

daytime moonrise, exploring historical and current climate data projected on a sphere globe, viewing historical marbled paper and then marbling paper together in class. From the Sacrobosco activity, when Gary contemplated an astrolabe for every planet, he went on to construct astrolabe geometry by hand, and to code and design the tympanum for 8 astrolabes, producing a project that surprised everyone!

Dewey's Philosophy invites an experimental activity

An ongoing activity for this class involved discussing John Dewey's writings. During one discussion, the same passage was selected for reading aloud, by Dima, a teacher at a Waldorf school who joined us that day, and Gary. There Dewey identified a role for education in developing the "personal initiative and adaptability" as essential to participants in a democratic society:

> A society which is mobile, which is full of channels for the distribution of a change occurring anywhere, must see to it that its members are educated to personal initiative and adaptability (DEWEY, 1916, p.93-4).

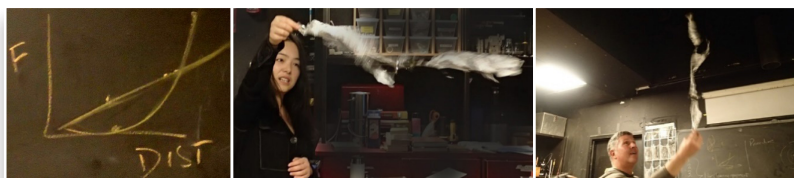
The undoing of walls and divisions between people, for Dewey is inseparable from the deep and philosophical work of integrating mind and body, thought and experience. To do this work as education entails having the learners be the ones who are observing and inferring relationships – where these relationships interweave all manner of physical, human and intellectual domains. Drawing thought into engaging relationally with the world is the incipience awareness of uncertainty, instability, risk-awarenesses that learners are to be encouraged in extending investigatively.

Each classmate spoke from a compelling personal experience of integration. Gary thrilled to Dewey's example of a child flying a kite:

> The boy flying a kite has to keep his eye on the kite, and has to note the various pressures of the string on his hand. His senses are avenues of knowledge not because external facts are somehow "conveyed" to the brain, but because they are used in doing something with a purpose (DEWEY, 1916, p.149).

TJ and Dima marveled at the complex coordination entailed in catching a ball. Dima spoke of synchrony that emerges with another dancer in doing contact improve exercises; violinist TJ of the enthralling upwelling of sound when an orchestra tunes. Summer expressed "Allow yourself to arrive" in an experience. Responsively in that moment, I proposed that for the remainder of our class, we might create together such an experience.

While I had no specific activity in mind, immediately, Gary asked for a fan, to try indoor kiting. As I went off for a fan and light materials, Gary sketched on the board. Proposing that the fan's effect would be related to its distance from something (Figure 3 left), he exclaimed "I don't know". With the fan unplugged, Dima enacted her hunches that the relation would be gradual, not abrupt. Upon starting the fan, Dima confirmed her hunch: a blue paper held near the fan was horizontal; it hung down when distant.

Figure 3. Left: Gary's blackboard diagram proposing either a linear (line rising to the right) or nonlinear (curve rising to the right) relation between the force or effect of the fan on an object, and the object's distance from the fan. Middle: Summer holds a strip of flimsy mylar beside the fan (left of the frame of the photo) and it stretches out in the breeze. Right: After repositioning the fan to blow vertically, Gary holds the mylar strip over the fan. The strip stretches vertically upward, eventually breaks loose and is held in the ceiling.

A flimsy mylar, among light materials I'd gathered, astonished everyone. Upon release before the fan (Figure 3 middle), it traveled, fluttered and even hung seemingly in place. Exclaiming with awe, everyone was perturbed in their thinking. Was its behavior measurable? While Gary persisted with his distance-effect theory, Dima advocated greater complexity: "it changes as it moves!" Repositioning the fan to orient upwards, not sideways, Gary modified the apparatus to address his emerging questioning, thus pitting the fan effect against gravity (Figure 3 right).

Now the mylar sailed to the ceiling and lodged there. A new improvisational research into the mylar's behavior ensued in the effort to retrieve it. Amid the celebration of the mylar's descent, I invited reflections on this experimenting, as an intermingling of experience and reflection in Dewey's writing.

Reflection on History and Philosophy in encouraging students' curiosity

In these examples, passages of history and philosophy came to life through students' openness in acting on curiosity. Learners' personal reflections coordinated multiple perspectives in relationship with the universe, including Summer's "arrival" in meeting ancient peoples' geocentrism and Gary's construction of planetary astrolabes. Learners' differing perspectives deepened collective experimenting - such as Summer's idea to paint the ball in parts, and Dima's attention to mylar's changing shape-, and collective discussion - such as the concurrence of Dima and Gary in reading aloud the same sentence from Dewey, and the diversity among experiences of mind - body synchrony, ranging from kite-flying to an orchestra's tuning. History and philosophy as works of life are ongoing through us taking up those works into investigative experiences of reflection and community.

In reflecting on these experiences, Summer, an education student, concurred with Dewey that education can kill curiosity. In her final paper, she wrote:

> How can we cultivate the children's curiosity?
>
> For me: You never have to cultivate curiosity in children... The only problem is not to kill it. Elizabeth showed us well how to not kill the curiosity.
>
> I can imagine how (people lacking in questions and curiosity) were discouraged when they themselves were young children with many questions. This is the most cruel thing for me in the world: killing other people's inherent ability or rights utilizing our power, such as life, freedom or curiosity. In my opinion, educators [who] discourage children's questions do unforgivable behavior (XIA, 2018)

There is an alternative: education can welcome curiosity. Summer and her classmates celebrated their experiences of collaborative, shared curiosity. Curiosity reciprocates educators' trust, trust in learners' questions, taking them into unknown, places of learning together with historical thinkers and investigators.

References

AL-HAITHAM, I.; LANGERMANN, Y. T. **Ibn al Haitham's on the configuration of the world**. New York: Garland, 1990.

AMBROSIO, D. **Balatik etnoastronomiya: kalangitan sa kabihasnang Pilipino**. University of the Philippines Press, 2010.

BRECHT, B. **Life of Galileo**. J. Willett and R Manheim, eds., trans. J. Willett. New York, NY: Penguin Books, 2008.

CAVICCHI, E. Classroom explorations: Pendulums, mirrors, and Galileo's drama. **Interchange**, v.42, n.1, p.21-50, 2011.

CAVICCHI, E. Explorando Péndulos en el Salón de Clases. In: MONROY-NASR, Z. G. A.; LEON, R. (Eds.), **Enseñanza de la Ciencia**. Mexico City, Mexico: Facultad de Psicología y DGAPA, UNAM, 2012, p.27-50.

CAVICCHI, E. Shadows of light and history in explorative teaching and learning. In: SILVA, C. C.; PRESTES, M. E. B. (orgs.). **Aprendendo Ciência e sobre sua natureza:** abordagens históricas e filosóficas. São Carlos: Tipografia, 2013, p.397-410.

CAVICCHI, E. Learning science as explorers: historical resonances, inventive instruments, evolving community. **Interchange**, v.45, n.3-4, p.185-204, 2014.

CAVICCHI, E. Shaping and Being Shaped by Environments for Learning Science. **Science & Education**, v.26, n.5, p.529-556, 2017.

CAVICCHI, E. "At Sea": Reversibility in Teaching and Learning. **Interchange**, v.49, n.1, p.25-68, 2018.

CHAUCER, G. **A treatise on the astrolabe**. S. Eisner, ed. Norman: University of Oklahoma Press, 2002.

DEWEY, J. **Democracy and education: an introduction to the philosophy of Education**. New York: Macmillan, 1916/1950.

DEWEY, J. **Art as experience**. New York: Capricorn Books, 1934/1958.

DEWEY, J. Panel Discussion: Education Today. In: **The Later Works of John Dewey**, 1925-1953. v.11, 1935-1937, Essays, Liberalism and Social Action. Collected works of John Dewey 1882-1953. Electronic Edition. 1989-2018, InteLex, 1935.

DUCKWORTH, E. Teaching as research. In: DUCKWORTH, E. (3rd ed.), **The having of wonderful ideas" and other essays on teaching and learning**. New York: Teacher's College Press. (Original essay published in 1987), 2006a, p.173-192

DUCKWORTH, E. (2006b). Twenty-four, forty-two and I love you: Keeping it complex. In: DUCKWORTH, E. (3rd ed.), **The having of wonderful ideas" and other essays on teaching and learning**. New York: Teacher's College Press. (Original essay published in 1991), 2006b, p.125-155.

DUCKWORTH, E. Critical exploration in the classroom. In: DUCKWORTH, E. (3rd ed.), **The having of wonderful ideas" and other essays on teaching and learning**. New York: Teacher's College Press. (Original essay published in 2005), 2006c, p.157-172.

ESS. **The ESS** Reader. Newton MA: Educational Development Center, 1970.

EUCLID. **Euclid's Elements**. T. L. Heath trans. D. Densmore, ed. Santa Fe, N. M: Green Lion Press, 2002.

GALILEI, G. **Dialogue Concerning the Two World Systems**, S. Drake, (trans.), Berkeley. California: University of California Press. (Original work published in 1632), 1967.

GILBERT, W. (1600). **On the Magnet.** Available on http://www.gutenberg.org/ebooks/33810?msg=welcome_stranger#BII.2

GRAY, S. Two Letters from Stephen Gray on Electricity. **Phil. Trans**. v.37, p.397-407, 1731-2.

HUGHES, T. **Science and the Instrument Maker: Michelson, Sperry, and the Speed of light**. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1976.

INHELDER, B.; SINCLAIR, H.; BOVET, M. **Learning and the development of cognition** (S. Wedgwood, Trans.). Harvard University Press, Cambridge, MA, 1974

KEPLER, J. **Somnium; the dream, or posthumous work on lunar astronomy**. E. Rosen, trans. Madison, WI: University of Wisconsin Press., 1967

LIUNI, F. **Experiencing mathematical proves syntax of an astro-labe.** MIT Thesis, Cambridge MA, 2016.

LIUNI, F. **Exhibit in Focus: Syntax of an Astrolabe**. https://chsi.harvard.edu/exhibit-focus-francesca-liuni, 2017.

MÁRQUEZ, G. **One hundred years of solitude**. (G. Rabassa, Trans.) New York: Harper Perennial Modern Classics. 2008/1970.

MORRISON, J. **The Personal Astrolabe**. Delaware: Janus, 2010.

NEEDHAM, J. **Science and Civilization in China**. Cambridge UK: University of Cambridge Press, 1954.

NORTH, J. The Astrolabe. **Scientific American**, p.96-106, January, 1974,

PAYNE-GAPOSHKIN, C. **Cecilia Payne-Gaposchkin: an autobiography and other recollections**. K. Haramundanis, ed. Cambridge UK: Cambridge University Press, 1984.

PIAGET, J. **The origins of intelligence in children** (M. Cook, Trans.). New York: International Universities Press. (Original work published in 1936). Retrieved January 1, 2018, from https://archive.org/details/originsofintelli017921mbp, 1952.

PIAGET, J. **The construction of reality in the child** (M. Cook, Trans.). New York: Basic Books. (Original work published in 1936), 1954.

PIAGET, J. **The child's conception of the world** (J. & A. Tomlinson, Trans.). Totowa, NJ: Littlefield, Adams. (Original work published in 1926), 1960.

PIAGET, J. **The Grasp of Consciousness: Action and Concept in the Young Child. S. Wedgwood trans. Cambridge MA: Harvard U Press, 1976.**

SACROBOSCO, J. **Ioannis de Sacro Busto sphaericum opusculum**. Venice: E. R. Augustensis, 1485.

SACROBOSCO, J. **LiberIoannis de Sacro Busto, De sphaera: addita est praefatio in eu[n]demlibrumPhilippi Mel. ad SimonemGryneum**. Venice: J. A. &Fratres de Sabio, 1532.

SACROBOSCO, J. **Sphaera Iohannis de Sacro Bosco: emendatiore sermone & methodo tradita, multisque praeceptionibus quae ad illustrationem hujus doctrinae requirebantur, adaucta operâ & studio Franconis Burgersdicii**. Leiden, Netherlands: Lugdvni Batavorum, ex officinâ Bonaventurae & Abrahami Elzevir, Acadamiae Typograph, 1626.

SHEN KUO**. Brush talks from Dream Book. Wang Hong and Zhao Zheng, trans. Chengdun Shi: Sichuan Pub Group, 2008.**

THORNDIKE, L. **The Sphere of Sacrobosco and its commentators**. Chicago: Univ. of Chicago Press, 1949.

XIA, F. **Letter to My Future Child**. EC.090 Final Paper. MIT, Cambridge MA, 2018.

MUSEU ESCOLAR DO COLÉGIO MARISTA ARQUIDIOCESANO DE SÃO PAULO: PLANEJAMENTO E ORGANIZAÇÃO DO INVENTÁRIO DE MATERIAIS CIENTÍFICOS

Katya Braghini
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
kmbraghini@pucsp.br

Introdução

Por três anos o Núcleo de Estudos Escola e seus Objetos (NEO) inventariou peças voltadas ao ensino de Física, no Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo[73]. Esse texto tem por objetivo fazer um relato problematizado dessa história, explicando de maneira pormenorizada o nosso plano de política acervo, o que significou, neste caso, apresentar a história de transformação de peças em relativo estado de abandono em um acervo organizado, catalogado, divulgado como patrimônio científico-educativo.

Como relatório, pretende apresentar os procedimentos adotados para a organização documental. De certo modo, um relatório procura mostrar a descrição clara dos passos de uma pesquisa visando a sua replicação. Neste caso, tratamos do texto

73 Trata-se do projeto "Museu Escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo (fase 1): planejamento e organização do inventário dos materiais científicos" sediado na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo entre os anos de 2015 a 2018, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

como uma forma de convite. Busca-se aquí fazer uma compilação das ações, problematizando os passos de trabalho de maneira que ele seja também um convite, que de forma didática apresenta a importância do proceso de recuperação das fontes documentais tridimensionais que dizem respeito ao histórico da educação científica em nosso país. Portanto, não se trata, tão somente, de uma comunicação dos resultados obtidos, mas, de fazer este movimento asociando-o à análise dos procesos de investigação, das teorías escolhidas, dos métodos pensados, de modo que outros pesquisadores sintam-se dispostos a participarem desse pequeno movimento pela causa da materialidade científica escolar.

Ao longo da pesquisa fomos guiados pela correlação imediata dos objetos com sistemas de pensamento e sistemas simbólicos de tempos passados. A ideia sempre foi a de registrar o maior número de informações sobre o histórico dessaspeças, buscando repassar confiabilidade aos pesquisadores em relação ao rigor pela busca de um conhecimento específico retirado de cada uma delas.

Mas, de início não foi tão simples assim desenvolver ese trabalho. O não reconhecimento dos códigos históricos impressos nesse tipo de material, persistiu por algum tempo. Uma coisa é ser tomado pelo entusismo diante de toda uma composição de lindas peças e sonhar com todas as posibilidades de investigação que deles possam denotar. Outra, é ter que encarar a realidade de não se ter acesso irrestrito à história desses objetos, precisamente, porque com o tempo, suas histórias e significados de uso foram sendo suprimidos por seu histórico de abandono.

O Núcleo de Estudos Escola e seus Objetos (NEO) foi criado no ano de 2012 e foi instituído oficialmente no Diretório de Grupos de Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) como grupo interdisciplinar e interinstitucional, para estudos e pesquisas sobre a cultura material escolar, compreendendo as suas diferentes configurações partir das perspectivas política, social, educacional, histórica e cultural, no entendimento da constituição dos saberes por sujeitos associados

e representados por ela. A entrada deste grupo de pesquisa no diálogo entre a história da educação e a história das ciências aconteceu pela necessidade de ter conhecimentos específicos sobre a história da disciplina de Física e também pela vontade de tornar de interesse público um acervo que se encontrava fechado em um colégio privado.

O grupo trabalha com a cultura material entendendo as práticas estando condensadas e registradas na materialidade. Estudamos, portanto, as relações sociais de cujos objetos são produtos e testemunhas, pensando os diferentes significados dos mecanismos gerais de funcionamento da sociedade, enquanto objetos são fabricados, idealizados e objetivados como materiais sendo a expressão tangível do que entendemos por "humanidade".

Pretende-se a criação de um sistema de hipótese em torno da natureza etnográfica dos indicios visíveis e tangíveis da escola, buscando os sinais e significados que esses materiais exibem sobre o universo escolar em situações e períodos diversos. No plano historiográfico, no campo da cultura material, teoriza e busca diferentes metodologias de investigação e pesquisa para acesso às informações retiradas imediatamente dos objetos.

Passamos às investigações históricas pensando a experiência escolarizada, dando ênfase ao resultado de certas formas específicas e historicamente determináveis da organização dos sujeitos neste espaço social, da qual não se ignora o papel perene, palpável, real e muitas vezes vista como "efêmera" da materialidade. São quatro as perspectivas de interesse da pesquisa desse grupo: 1) Práticas escolares: as formas de interiorização e apropriação dos objetos pelo corpo, pensando as conduções motoras e a formação e interiorização da memória corporal na constituição do *habitus*; o estudo do espaço entendido como ambiente de proxemia, ou seja, local da síntese entre o corpo-objeto-espaço, julgando a constituição dos sujeitos em suas experiências; 2) História do mercado didático abrangendo os interesses de produção, desenvolvimento de materiais, design, comércio e circulação de objetos; 3) Inovações

escolares e a produção e uso das tecnologias de ensino, resguardado por uma atitude intelectual frente ao que significa o termo "inovação", seja temporalmente, seja socialmente; 4) Guarda e salvaguarda da materialidade do passado na sua forma patrimonial.

O projeto de inventariação da coleção de Física aqui apresentado está associado a esta última categoria de um programa de pesquisa maior que se interessa pela cultura material escolar de forma ampla[74]. Isto é, o projeto "Museu Escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo (fase 1): planejamento e organização do inventário dos materiais científicos" foi organizado para cumprir os objetivos vinculados a categoria de guarda e salvaguarda de materiais escolares. Sendo materiais históricos voltados ao ensino das ciências, passou a canalizar parte das discussões do grupo para a constituições de pesquisas que procuram historicizar o ensino das ciências no Estado de São Paulo.

O texto transita pelo foco de interesse do grupo que, no caso do trabalho com esas peças científicas, perpassa a relação entre a história do ensino das ciências e a história das ciências. Na sequência, apresentamos um breve histórico desse patrimônio, para no fim abordarmos os trabalhos com o inventário, aqui pensado como ferramenta de gestão, difusão e peça chave para a produção de novos conhecimentos, sejam eles acadêmicos ou não[75].

---

74 Trata-se do programa de pesquisa "História da escola por seus objetos: estudos etnohistóricos da escola brasileira (século XIX e XX)", desenvolvido no Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação: História, Política, Sociedade (EHPS), na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), com um grupo de pesquisadores (nacionais e internacionais), especializado e com produções acadêmicas desenvolvidas nos campos da História da Educação e História da Ciência. A Pontifícia Universidade Católica de São Paulo é a instituição sede do NEO, grupo que em longo prazo, pretende investigar e fomentar trabalhos sobre uma história dos objetos escolares ao longo dos séculos XIX e XIX.

75 Apresentamos o modelo da ficha de inventário utilizada para o tratamento das informações inseridas no banco de dados criado no sistema *Pergamum,* sistema este inicialmente concebido para o gerenciamento do acervo de bibliotecas. No

Debate nacional e internacional sobre o patrimonio científico-educativo ou os "objetos de educação em ciências"

Tanto no plano da História das Ciências, quanto na História da Educação vive-se um movimento contraditório em torno da salvaguarda do patrimônio histórico. Centros de ciências nas universidades e escolas são produtoras de documentação e grandes consumidoras de produtos. Mas, cientistas e educadores também são sistemáticos descartadores de materiais tão logo estes deixam de ser "inovações" e eles acabam se transformando em lixo tão logo o ciclo de seu uso seja cumprido. Esse tipo de coleção, técnica-científica, associada à difusão e ao ensino do conhecimento científico no ambiente escolar é em geral ignorado, quer no sentido dos usos escolares dessas peças, quer no sentido de sua manutenção na forma de patrimônio.

Especialistas no assunto nos advertem sobre os cuidados em relação às designações sobre esse tipo de patrimônio. Tem-se por "patrimônio de Ciência e Tecnologia" (C&T) um conjunto de diferentes documentações que perpassam "o conhecimento científico e tecnológico, os objetos, os documentos com suporte em papel, as coleções arqueológicas e etnográficas, os espécimes biológicos e as construções arquitetônicas", e também os objetos de ensino (GRANATO, 2009).

Meloni e Granato (2014, p.3-4) indicam um cuidado para a designação desse tipo de objeto, já que eles não tem por finalidade a produção de conhecimento científico e tecnológico, deviam ser tratados por "objetos de educação em ciências", não sendo esquadrinhados em definições voltadas à C&T. No entanto, fazem parte

caso, a ficha de catalogação para a inserção de dados foi denominada objetos científicos e foi construída dentro de uma interface denominada *Pergamum Museu*. O *Pergamum* - Sistema Integrado de Bibliotecas é um sistema informatizado de gerenciamento de dados, direcionado aos diversos tipos de Centros de Informação.

de um grande conjunto material que possuem valores e significados diferenciados e que muitas vezes são excluídos do debate sobre guarda e salvaguarda de acervos, ainda que sejam também pertencentes ao patrimônio cultural do país.

Os mesmos autores nos mostram que tais objetos passam por estágios de "vida útil", o primeiro diz respeito ao seu uso regular, depois, a passagem para um limbo, ficam inferiorizados, mas estocados, por fim, a eliminação (MELONI; GRANATO, 2014, p.4). Pois é a respeito desses estágios de vida que tratam uma série de trabalhos feitos no Brasil e no exterior, que passam a ser escrutinados, e que dizem respeito aos processos de salvaguarda dos objetos que um dia compuseram parte do acervo voltado ao ensino e à educação científica, mas que depois de abandonados, aguardam que alguém os reconstitua algum significado.

Bernal Martínez, Delgado Martínez e Lopes Martínez (2009, p.607) denominam patrimônio histórico-científico todos os artefatos destinados ao ensino das disciplinas científicas. Isso significa que o estudo de objetos científicos e sua história são importantes para o entendimento de uma história das ciencias atrelada a uma história do ensino de ciências, que concomitantemente, constituem o currículo científico. Objetos científicos apontam de uma maneira tangível às práticas, apresentam algunas possibilidades de trabalho escolar que não se captam pelas documentações textuais, objetos científicos guardam em sua matéria, históricos das ciências e dos processos de experimentação, são testemunhos de ações científicas para a observação de hipóteses, muitas vezes são hipóteses de cientistas materializadas em um elemento prático e funcional. Portanto, se os historiadores da educação são interessados em outras formas de abordagem de pesquisa, aqui se questiona o quanto é fundamental uma ação de pesquisa disposta a ir procurar e indicar a localização de tais objetos.

Procura-se compreender, a relação desses campos na constituição do currículo escolar, em seus diversos níveis e possibilidades de análise, na esfera da escolarização obrigatória. Trata-se de um

patrimonio ainda pouco explorado no campo da história da educaçãoapresentando uma variedade de tipologias que instigam o trabalho historiográfico e a curiosidade em torno de seus históricos, bem como o seu potencial educacional.

Na França, temos o inventário dos objetos de ciências das escolas secundárias francesas feito pelos professores Bruno Belhoste e Henry Chamoux dentro do *Institut National de Recherche Pédagogique* (INRP) e do *Service d'histoire de l'éducation* (SHE). No mesmo país, detaca-se também a *Association de Sauvegarde et d'Étude des Instruments Scientifiques et Techniques de l'Enseignement* (ASEISTE) que se propõe a colaborar com as escolas na constituição de museus escolares científicos. Possui um inventário virtual com 4.000 objetos, com origem em mais de 40 escolas secundárias. Os dois projetos procuraram identificar estabelecimentos educacionais que possuíam uma herança de artefatos científicos e técnicos utilizados na prática educacional, assegurando a sua salvaguarda e, posteriormente, o estudo e desenvolvimento de pesquisas, inclusive explorando o potencial pedagógico de tais coleções para o ensino da história e das ciencias na atualidade.

No caso de nosso país é importante apontar a naturalidade do desprezo como tem sido tratadas esas remanescências do ensino que são comumente encontradas em porões, salas e armários no mais lamentável estado de abandono, em grande maioria em situação de risco, em proceso de descarte definitivo, muitas vezes lançados ao relento.

No Brasil, nomeadamente na área de História das Ciências, no campo da Ciência e Tecnologia, temos o projeto "Valorização do Patrimônio Científico e Tecnológico Brasileiro" do Prof. Dr. Marcus Granato, do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), que estudou os processos de patrimonialização dos acervos científicos brasileiros, inclusive escolares, buscando a sua valorização como bens sociais. Fez um panorama abrangente do patrimônio científico de institutos, faculdades, laboratórios e

universidades, levantando dados sobre a quantidade, a variedade, o estado de conservação das peças, gerando um amplo levantamento nacional.

Tal projeto visou, inclusive, fortalecer os conhecimentos em torno destes objetos e mais ainda, reforçar os seus significados históricos, como potenciais objetos de pesquisa e fontes documentais, nas legislações que mantêm o patrimônio cultural brasileiro. Fez da salvaguarda e a conservação do patrimônio de ciência e tecnologia como bandeira de luta política de modo que durante o IV Seminário Internacional Cultura Material e Patrimônio de Cultural de Ciência e Tecnologia, realizado no Museu de Astronomia e Ciências Afins, entre 05 e 08 de dezembro de 2016 foi elaborada "Carta do Rio de Janeiro sobre o Patrimônio Cultural da Ciência e Tecnologia" a partir do reconhecimento dos participantes do evento sobre a sua importância.

Vale destacar três trabalhos exemplares ligados a este grupo de pesquisa, também preocupados em discernir sobre o papel das ciências nos processos de escolarização e, em outra medida, perceber, a função da escola na constituição dos significados de Ciência. O primeiro trata da organização do acervo científico de Colégio Pedro II. O outro projeto apresenta a coleção do Ginásio Pernambucano, majoritariamente composto por objetos voltados à História Natural e comum histórico bastante interessante, a presença de um professor da instituição, ele mesmo um naturalista, que foi à procura de materiais, espécies para as suas aulas. Por fim, o trabalho "Objetos de ensino e o patrimônio cultural de ciência e tecnologia no Brasil e em Portugal: contribuições sobre levantamentos e inventários como instrumentos de preservação em escolas de ensino médio" em que são apresentados o levantamento de existência de objetos científicos em escolas brasileiras apresentando uma cartografia deste tipo de acervo (Cf. respectivamente, FERREIRA et al., 2010, p.123; GRANATO; ARAÚJO, 2018, s/n.; GRANATO; ABALADA; ARAÚJO, 2018, p.1-41).

Pesquisas pensadas especificamente sobre o patrimônio científico escolar e que dizem respeito à produção de uma história da educação em ciencias não são numerosas no país, mas o número temaumentado e suscitado interesse. Dentre eles destacamos, três agrupamentos de pesquisas lotados no Estado de São Paulo.

- "Saberes em Ciências Naturais: o ensino de Física e Química no Colégio Culto à Ciência de Campinas – 1873/1910", Doutorado em Educação de Reginaldo Meloni, apontando a inventariação e os usos históricos da coleção científica do Colégio Culto à Ciência de Campinas (UNICAMP). Atualmente, o mesmo pesquisador tem se dedicado ao projeto "Cultura material escolar e história do ensino de Ciências Naturais em São Paulo: uma abordagem transdisciplinar" que consiste na investigação histórica acerca do ensino de ciências naturais no Estado de São Paulo entre os anos 1880 e 1971. O projeto pretende um amplo levantamento de documentação visando o entendimento das práticas escolares, dentre outras coisas;
- "Os instrumentos antigos do Laboratório de Física da escola estadual Bento de Abreu de Araraquara", de autoria da profa. Maria Cristina Zancul, apresentando o processo de inventariação dos objetos científicos da Escola Bento de Abreu, em Araraquara, antes, *Araraquara College* e Ginásio Municipal Mackenzie. Também da mesma pesquisadora vê-se a preocupação sobre a localização e o estado de conservação dos objetos de educação em ciências nas escolas do interior paulista. Sobre este último assunto, destacam-se o projeto "Instrumentos antigos de valor histórico e o ensino de Física na primeira metade do Século XX" e o trabalho de mestrado de Elton de Oliveira Barreto "Aspectos do trabalho experimental no ensino secundário de Física entre 1930 e 1960: um

estudo a partir do acervo de instrumentos antigos da Escola Estadual Bento de Abreu de Araraquara (SP)", sob sua orientação;

- "Museu Escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo: constituição, histórico e os movimentos de salvaguarda da coleção", sobre as intervenções científicas no trato das coleções da instituição, formação de quadros em relação à salvaguarda de patrimônio educativo, formação de alunos de ensino médio à pesquisa; projetos ligados aos processos de salvaguarda e conservação de objetos científicos educativos (BRAGHINI; PEDRO; PINÃS, 2014).

Em outras palavras, esses três conjuntos de estudos se vinculam a uma linha de trabalho que, ao mesmo tempo, se ocupa com os processos técnico-científicos e museológicos de guarda, salvaguarda, organização de acervos e coleções científicas educativas e estimula a produção de pesquisas acadêmicas em torno daquilo que está salvaguardado. Julgam que um dos elementos primordiais para a conscientização sobre a sua importância e a sua valorização é, precisamente, o fomento de novas pesquisas que alimentam e justificam a necessidade de cuidado para com tais peças.

Outra posição dada aos objetos científicos históricos diz respeito ao seu uso didático na atualidade. Para alguns historiadores da educação, tal prática tem sido pontuada como uma inovação educacional. No sentido que permite, no ensino das ciências, considerar os aspectos históricos de experiências, teorias e práticas científicas entre os estudantes de ensino secundário. Essaideia de inovação é bastante interessante, pois faz uso de um objeto histórico como ponto de questionamento sobre as ciências à maneira "moderna" de posicionar o aluno como sujeito atuante do exercício escolar "dados a ver", o que reforça a intenção de guarda e salvaguarda de patrimônio escolar científico.

Peter Heering (2014) estuda a relação dos objetos científicos, históricos, como documentos, fontes de pesquisas, objetos legítimos de pesquisas acadêmicas, mas, sobretudo, pensa a educação científica a partir da apropriaçãodesses objetos, pensados como materiais didáticos. Segundo o autor, existe uma reclamação de parte da comunidade acadêmica no hemisfério norte em relação aos *déficits* na educação científica e sua alfabetização. Por isso se ocupa com a observação do experimento de pesquisa em uma tentativa de ensino. A história da ciências, no caso é compreendida como um camino ao desenvolvimento de competências científicas nos alunos. Ao mesmo tempo, tem a ver com os processos de mediação para o entendimento do que sejam as ciencias naturais. Sendo historiador da ciência, preocupado com a educação em ciências, julga que o ato de pesquisar habilita o entendimento do que é científico. Por isso, defende o potencial dos objetos científicos históricos, suas experiências e demonstrações em ambientes de aprendizagem formais e não formais e, principalmente, faz teste comesses objetos para ensinar ciências, de maneira ao mesmo tempo, conceitual e performática (HEERING, 2016).

Performática, nós julgamos, porque os objetos científicos, históricos, principalmente aqueles usados para o ensino da Física, são aparatos e máquinas que exigem a participação ativa dos sujeitos que os fazem funcionar. Julgando que são aparelhos que exigem, para funcionar, o trabalho ativo do professor (ou dos alunos, quando é o caso), vê-se, claramente, na ação sobre tais peças, os índices que aponta màs práticas escolares e que devem ser problematizadas.

A partir desse pequeno levantamento compreendemos que é interessante investigar o processo de constituição e crescente evolução das disciplinas científicas no currículo, a partir do estudo de objetos que foram decisivos para tanto. Materiais didáticos de diferentes formas trazem consigo códigos e signos referentes aos-processos de constituição dos diferentes currículos voltados às

ciências que criaram representações sobre o saber científico, modelando significados sobre a Ciência, sobre a Natureza, e a Cultura. Alguns desses materiais são científicos de precisão, e foram adaptados para o ensino escolar; outros foram criados especificamente o ensino, e apresentam o que é a Ciência na forma de materiais: instrumentos científicos, maquinários, modelos anatômicos, animais taxidemizados, herbários, insetários são representativos na construção dessa história.

Sobre a coleção de ciências do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo

O Museu Escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo é um patrimônio científico educativo de uma instituição católica, confessional, fundada em 1858. Guarda uma coleção iniciada há 157 anos, composta por diversos objetos vinculados ao ensino das ciências (Física, Química e História Natural). Este Museu Escolar, ao longo de sua existência, primeiro como espaço didático, planejado e organizado para as aulas, depois, como ambiente de salvaguarda de artefatos, não deixou de receber acréscimos ao longo de sua história. Fosse por compra de novos objetos, ou por doação feita por professores e ex-alunos, hoje a coleção abriga peças de diversos períodos do século XIX e XX.

O museu nasce junto a um gabinete completo de ciências, fundado no Seminário Episcopal (1856) que tinha anexo o Colégio Diocesano (1858), escolasecundária destinada a receber os alunos não aspirantes ao sacerdócio. Tanto o seminario quanto o colégio ficaram sob a responsabilidade dos freis Capuchinhos de Sabóia, ficando o gabinete sobordens de Frei Germano D'Annecy, professor de Astronomia, Física, Química e História Natural, sendo ele botânico, matemático, metereologista.

Foi somente em 1908 que a guarda do colégio foi concedida aos Irmãos Maristas. A Diocese de São Paulo foi elevada

a Arquidiocese e, portanto, a escola passou a se chamar Colégio Arquidiocesano de São Paulo e ofereciam-se os cursos primário e secundário em regime de internato ou semi-internato. Quando assumiram o Colégio, os Irmãos Maristas herdaram também o Gabinete de Ciências.

O Museu Escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo foi ampliado por motivos variados em que estão entrelaçados os seguintes sentidos: a história de uma instituição católica na cidade de São Paulo que desejava se destacar em meio às discussões sobre o estabelecimento de um ensino laico e republicano na passagem do século XIX para o século XX; o apelo à modernização da educação por meio do ensino das ciências que passa a ser compreendido como uma expressão da humanidade civilizada e urbana; a circulação de objetos científicos, principalmente de ensino, apresentados em catálogos de vendas, e que nos mostra um amplo mercado de ciências que, por um lado, fomentou novos significados sobre como ensinar ciências, por outro, transformou tais materiais em símbolos de prestígio, dando visibilidade às escolas que os comprassem. Esses objetos foram comprados para as aulas de Física, mas também foram usados para atrair e fidelizar alunos.

No caso do projeto de inventariação tratamos das peças adquiridas entre os anos de 1858 até aproximadamente os anos 1940. Essa parcela da coleção passou por uma fase de abandono, entre o final dos anos 1950 e meados dos 1960. Especialmente, os instrumentos para ensino de Física e Química sofreram o desgaste natural do tempo, agravados pelo acondicionamento inadequado[76]. Até o ano de 2008, muitas das informações relativas

76 Por meio dos relatos de professores, hoje aposentados, descobriu-se que o espaço de guarda dos instrumentos era um depósito caótico de coisas: lentes perdidas, lâmpadas quebradas, peças soltas, vidros rachados, peças de bronze oxidadas, cobertas com zinabre, infestadas por cupins, correias de couro partidas, etc. A solução para tais problemas teria sido o descarte de peças ou a guarda de partes da coleção e houve a sugestão de eliminação do acervo. Uma defesa pela guarda

aos instrumentos para o ensino de Física, e outras também, havia se perdido. As peças também estavam aglomeradas nos armários, sem identificação e mantidas fechadas, apenas recebendo cuidados de higienização[77].

Por serem, ao mesmo tempo, recursos didáticos e tecnocientíficos, esses objetos passaram por processo de abandono e até descarte, quando deixam de ser reconhecidos como "inovações". Parte dos instrumentos são materiais escolares, concebidos para o uso didático; outros são instrumentos de precisão que foram adaptados para a ação escolarizada[78].

---

dos objetos foi feita pelo professor Luiz Hermínio Marcarini, que lecionou, entre os anos de 1967 a 1999, a disciplina de Física, como em outras situações já detectadas em trabalhos sobre patrimônio escolar. Para maiores explicações sobre o estado geral da coleção, ver Braghini et al.,(2016).

77 No caso do Colégio Arquidiocesano, houve um impulso nas ações de preservação dos acervos históricos institucionais com as comemorações de centenário e sesquicentenário com a abertura de seu Memorial em 2008. Isso é, a história deste acervo passou pelo uso, abandono, quase descarte, interesse e estudo de um professor, recuperação de informações para uma efeméride, processo de valorização de seu patrimônio e divulgação de sua existência junto à comunidade escolar.

78 Cabe dizer que tal coleção faz parte de um acervo mais amplo. Existem mais 142 peças, usadas em variadas disciplinas científicas, provenientes da coleção de instrumentos científicos do Colégio Marista de Santos, desativado em 2009, e que agora está sob guarda do Memorial do Arquidiocesano de São Paulo. É desconhecida a quantidade de peças voltadas ao ensino da História Natural e de suas subcategorias (Mineralogia, Botânica, Zoologia), mas existem milhares delas. Há diferentes tipos de modelos anatômicos (Zoologia e Botânica) adquiridos entre o final do século XIX até os anos 1990. A coleção contém modelos anatômicos, animais taxidermizados (109 espécies), modelos diversos, coleções de mineralogia, exemplares arqueológicos etc.. Madi Filho (2013), na dissertação de mestrado intitulada "Animais taxidermizados como materiais didáticos em fins do século XIX e início do século XX" aponta que a coleção é composta majoritariamente por espécies de biomas brasileiros.

Relatório da inventariação do Museu Escolar do Colégio Marista Arquidiocesano

Buscou-se promover o processo de identificação das coleções de Física visando o conhecimento do patrimônio científico do Colégio Arquidiocesano de modo a contabilizar e identificar por meio de critérios científicos, museológicos, as peças existentes; estimular a suavalorização, preservação e divulgação, a partir de uma base de dados que funcione como fonte de informação, formação e conhecimento aberto ao público pesquisador, seja ele académico ou não.

Para tanto foram organizados os seguintes trabalhos: a) Organização da ficha de inventário para a base de dados eletrônica denominado *Pergamum;* e o preenchimento com os dados relativos ao patrimonio apresentado; b) Proposição de um plano de conservação levando em conta as suas respectivas normas técnicas, a partir dos conhecimentos produzidos no processo de constituição do inventário.

Em primeiro lugar foi elaborada uma lista dos objetos referentes ao ensino de Física. A primeira listagem básica foi feita a título de organização prévia para a montagem do projeto. Essa lista foi pensada observando os conteúdos dos catálogos de vendas de empresas especializadas ou produziam, oufomeciam as peças. Também foram usados libros didáticospara a identificação dos objetos pelos seus nomes. Nesse primeiro momento, foram identificadas 685 peças pertencentes aos diferentes ramos de estudos da disciplina.

A ficha para identificação das peçasfoi pensada durante um ano e foi construída dentro de uma base de dados intitulada *Pergamum Museu* que é normalmente, uma ferramenta usada para o controle de bibliotecas. No caso, foi aberta uma via de inventariação por uma interface para a catalogação de peças, principalmente científicas.

Os campos descritivos da ficha de registro foram sugeridos por Granato et al., (2013, p.5) do Museu de Astronomia e Ciências

Afins, Rio de Janeiro (MAST). Pode-se identificar nos campos descritivos: local para foto representativa do objeto, localização, estado de conservação, documentos associados (notas fiscais, etc.), compilador/data (dados do responsável pela descrição), descrição e função do objeto, denominação, nome vulgar, número, materiais, dimensões, fabricante, marcas/inscrições, legendas e ano de fabricação. A descrição individual do objeto apresenta as dimensões físicas e características materiais, indica sua procedência/fabricação e possível datação, inclui as inscrições e marcações existentes e o uso para o qual o artefato se destinava.

A Figura 1 apresenta uma das fichas já preenchidas mostrando como estão sendo inseridas as informações nos campos a título de exemplo.

Figura 1: Ficha do Hemisfério de Magdeburgo

Campo	Conteúdo	
Palavra(s)-chave	Física	
Palavra(s)-chave	Instrumento de demonstração e estudo-operativo	
3 - HISTÓRICO DO OBJETO		
Fabricante(s)	Deyrolle	,
Ano de fabricação	[s. d.]	.
Descrição	Aparelho apresenta uma base de ferro pintada, com uma torneira. Aparentemente, tal parte foi anexada ao aparelho para fins de supc	;
Dimensões (altura X largura x profundidade)	31X 18X 18cm	
4 - INFORMAÇÃO DE UTILIZAÇÃO DO OBJETO		
Marcas/Inscrições/Legendas	Marca do fabricante na válvula "Deyrolle". Na torneira da base de ferro, consta um registro sem identificação precisa [Sfrgia]. Etiqueta adesiva de listagem anteiror (394).	
Descrição e função	A invenção deste instrumento deve-se a Otto von Guerick (1602 – 1686), físico alemão que se notabilizou pelos estudos sobre vácuo, eletrostática e a propagação do som. Os hemisférios de Magdeburgo consistem em duas abóbadas metálicas ocas que justapostas formam uma esfera. O interior da esfera comunica com o exterior através de uma torneira que ligada a uma máquina pneumática permite a extração do ar, criando vácuo. Utilizando este equipamento realizou a famosa experiência na cidade de Magdeburgo, em 1654. Cada parte da esfera estava	
5 - LOCAL DO ACERVO E/OU ESCAVAÇÃO		
Número do Armário	Armário 13	
Legenda da peça	Hemisférios de Magdeburgo	
Número do Armário	Thesaurus de Acervos Científicos em Língua Portuguesa	

8-2017 **Pergamum**. Todos os direitos reservados V.9 - S.0 - 31/08/2017 Pergamum

Fonte: Pergamum, Museu Escolar – Colégio Marista Arquidiocesano, nov. 2018[79]

79 Braghini, Katya M. Z., Pedro, Ricardo Tomasiello, Piñas, Raquel Q. Base de dados de objetos científicos: Museu Escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo. São Paulo, 2019. Disponível em: **https://biblioteca.grupomarista.org.br/pergamum/biblioteca/index.php?id=memorial**

Para a criação dos itens da ficha de catalogação foram atribuídas a nomenclatura, o ramo científico no qual a peça está classificada, considerando denominações de inventários anteriores e outros nomes que possam ser dados ao item. O inventário em foco, parte da ideia de uniformização terminológica no campo de identificação inicial, pensando os termos de uma nomenclatura universal de objetos científicos.

A uniformização terminológica está amparada por um trabalho feito pelos parceiros de pesquisa, desenvolvido a partir de um projeto envolvendo uma rede de instituições de guarda de peças científicas, tais como o próprio MAST, o Museu Nacional de Ciências da Universidadede Lisboa, o Colégio Pedro II no Rio de Janeiro. Trata-se do *Thesaurus* de Instrumentos Científicos em Língua Portuguesa, fonte constante de consulta deste inventário. Essa escolha foi embasada pelas ideias de Meloni e Granato (2011, p.55-56), que esclarecem a não existência de uma uniformidade histórica dos nomes dos aparelhos, variando de acordocom o uso, fabricante, ou cientista descobridor do fenômeno. A nomenclatura padrão visa à facilitação da comunicação entre pesquisadores, de modo a promover a pesquisa pelo intercâmbio; mirando uma valorização conjunta do patrimônio científico e escolar.

As informações obtidas foram sistematizadas nas fichas e o registro visual é feito por meio de fotografias da peça em diferentes ângulos. As fotografias de cada uma das peças são associadas às suas respectivas fichas. Também foi possível fazer um campo de vinculação do objeto a diferentes conteúdos de interesse específico encontrados na internet, tais como a apresentação de vídeos, mostrando o funcionamento da peça ou, outros conteúdos científicos que apontem para mais conhecimentos sobre o ítem apresentado. Ao final é possível gerar relatórios totais ou parciais a partir de demandas específicas dos pesquisadores.

Plano de conservação, preservação e restauro

A respeito do plano de conservação, preservação e restauro, no caso do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo, iniciou-se o processo pela higienização; guarda adequada do objeto; avaliação do estado de conservação; e se há necessidade de intervenções emergenciais para a preservação do artefato. Antes mesmo do início do projeto foram adquiridos 47 novos armários para a guarda dos objetos que continuam expostos nos corredores e átrios de três pisos do edifício escolar. Anualmente os objetos passam por higienização.

Em relação à conservação das peças a equipe do NEO segue os seguintes protocolos que valem como atividades da escola: a) Atendimento as solicitações dos pesquisadores, académicos ou não, garantindo o acesso às coleções, com breve treinamento técnico; b) Treinamento e acompanhamento das equipes de limpeza responsáveis pelas peças; c) Revisão frequente das peças, dos armários, etiquetas e placas de identificação; higienização compadrões de segurança; d) Avaliação e encaminhamento para restauro das peças em estado crítico de deteriorização. Para tanto, o grupo acompanhou os estudos feitos por outras equipes científicas, nacionais e internacionais, que trabalharam tanto com materiais científicos, quanto nos inventários de materiais didáticos científicos.

No que se refere ao estado de conservação foi elaborada uma categorização dividida em três classificações. Bom: a peça apresenta marcas de tempo, pequenas rachaduras, pontos de oxidação e escurecimento do metal que não interferem na sua integridade. Regular: a peça apresenta rachaduras estruturais, ausências de partes e comprometimento dos materiais do artefato que apontam a necessidade de uma intervenção, sem que a existência da peça esteja em risco. Ruim: os problemas colocam o uso e a existência da peça em risco e o objeto se torna um perigo para pesquisadores e até a própria coleção (infestação com cupins, traças, mofo, contaminação por substância tóxica).

A ferramenta Pergamum permite a identificação de cada uma das peças ou lote de peças por seu estado de conservação. O relatório gerado pelo banco de dados permite identificar o estado atual dos objetos, conforme descrito na tabela abaixo.

Tabela 1: Acervo Museu Escolar - Coleção de Física

Assunto	Quantidade
Bom	721
Regular	81
Ruim	22

Fonte: Pergamum, Museu Escolar – Colégio Marista Arquidiocesano, jan./2019

Como se pode perceber, o estado da coleção de Física, considerando os critérios estabelecidos para as respectivas avaliações, apontam para um grupo de objetos majoritariamente em bom estado de conservação. Ainda que todas as peças apresentem marcas de uso, o estado material não apresenta riscos em sua composição. Há partes do acervo que apresentam, pela análise das peças, uma série de histórias. Vemos marcações de queimadura, inscrições feitas à caneta, à lápis, orientações sobre manejo por conta das áreas de desgastes, orientações sobre o funcionamento, marcas de outras listas de quantificação das peças, etc.

O núcleo de pesquisa não sustenta um trabalho de restauro, mas há encaminhamentos de peças para um restauro especializado. Também há indicações de danos ao acervo por conta das alterações de temperatura, pela incidência de iluminação inadequada, pela trepidação do edifício, já que logo abaixo está a linha azul do metrô de São Paulo. O que se espera é que os mantenedores do patrimônio tenham o bom senso de se manifestarem favoravelmente em relação a sua propriedade, ação que nem sempre é imediata, ou adequada.

Processo de divulgação dos trabalhos; formação de novos pesquisadores; iniciação científica de Ensino Médio

Os procedimentos de divulgação estão condensados em duas frentes, uma, tradicionalmente acadêmica, por meio de trabalhos apresentados em eventos científicos, artigos para revistas e textos para livros. Dentre os trabalhos académicos produzidos ao longo do projeto, em relação à ação do grupo de pesquisa, há artigos em revistas acadêmicas; capítulos de livros; comunicações em eventos científicos. Outra frente, mais ligado ao projeto de divulgação do ensino das ciências para o público em geral, é feita por meio de exposição de pesquisas a partir de redes sociais.

A principal iniciativa para a divulgação dos trabalhos e o debate com outros pesquisadores aconteceu no "I Seminário Internacional Patrimônio Científico e Ensino das Ciências", ocorrido na Pontifícia Universidade Católica entre os dias 1 e 2 de agosto de 2017, comfinanciamento da *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)* e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (*CAPES*). Findo os trabalhos, no outro dia, ocorreu uma visitação técnica dos pesquisadores convidados ao museu escolar em foco. Foi a primeira edição do evento que visa interligar pesquisadores voltados aos campos da História da Educação, História das Ciências e Museologia. Buscou-se ampliar as discussões sobre a história da educação científica, no âmbito da História da Educação, pela interface com museológos e pesquisadores da história das ciências.

O Seminário foi composto por três mesas-redondas, umaconferência e umasessão de apresentação de pesquisas. As mesas-redondas, comdoispalestrantes cada, contemplaram os seguintes temas: Cultura Material e Ensino das Ciências, a cargo dos profesores doutores Marta Lourenço (Universidade de Lisboa, Museu Nacional de Ciências) e Leoncio López-Ocón (Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Espanha); Patrimônio

Científico-Educativo e história do ensino das ciências, com Rosa Fátima de Souza (UNESP) e Vera Lúcia Gaspar (UDESC); e Patrimônio Científico-Educativo: Ensino e Pesquisa, Marcus Granato (MAST) e Reginaldo Meloni (UNIFESP).

Figura 2: I Seminário Internacional Patrimônio Científico e Ensino das Ciências.

Fonte: KatyaBraghini (2017)

A sessão de pesquisa apresentou trabalhos recém-concluídos ou em andamentos sobre "História dos Quadros Parietais e o Ensino das Ciências" (Joana Borges de Faria); "História dos Museus Escolares no Estado de São Paulo" (Camila Marchi da Silva); e "História dos modelos anatômicos nos colégios secundários paulistas" (Andrezza Cameski). Por fim, aconteceu a conferência final com o título "Historical perspectives on teaching devices related to historical experiments", proferida pelo Prof. Dr. Peter Heering (*Europa-Universität* Flensburg).

Em outro momento, foi organizada uma exposição fotográfica denominada "Objetos científicos: os brinquedos; os icônicos;

os modelos desmontáveis". Ela foi apresentada em dois importantes congressos da área de História da Educação. A primeira montagem foi feita no congresso XII Congreso Iberoamericano de Historia de la Educación Latinoamericana (CIHELA), "Historia delas prácticas, instituciones y saber pedagógico en Iberoamérica", acontecido na Universidad de Antioquia, Medellín. Colombia, em março de 2016. Já a segunda apresentação aconteceu no XI Congresso Luso-Brasileiro da História da Educação, "Investigar, Intervir e Preservar – Caminhos da História da Educação Luso Brasileira", acontecido na Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP), em junho de 2016.

Figura 3: Exposição de fotografias – Medellín, Colômbia, março, 2016

Fonte: Ricardo Tomasiello Pedro (Arquivo pessoal)

A exposição foi apresentada em 12 quadros murais, tendo por conteúdo a apresentação das peças escolhidas na coleção do museu escolar; acompanhados por documentos correlatos textuais (catálogos de venda, livros didáticos, atividades e exercícios); registros iconográficos (ilustrações, charges); registros das práticas escolares. Trata-se de um estudo de documentações que se associam ao histórico das peças buscando um diálogo com o público no sentido de expor as possíveis relações entre as peças,

fotografadas e um rol de documentações (textuais e iconográficas), compondo um quadro historiográfico mais abrangente, para além da exibição pura das peças, sem contextualização.

Também no ano de 2016, foi aberta uma página pelo *Facebook* para a apresentação dos trabalhos feitos no museu escolar ao longo do processo de inventariação. A página da internet segue três objetivos: a) Divulgar os trabalhos do grupo para o público em geral, mostrando os trabalhos que são pertinentes à atividade de guarda e salvaguarda de acervos; b) Compartilhar as informações pertinentes às pesquisas voltadas ao patrimônio científico educativo a todos aqueles que têm algum interessena temática; c) Estimular o interesse pela guarda e salvaguarda do patrimônio educativo, principalmente em professores, articulando taisdiscussões aos aspectos interessantes à construção da memória escolar; apresentar as questões técnicas, teóricas e metodológicas para a organização de acervos e coleções.

A formação de novos pesquisadores concentra-se na área de estudos da cultura material escolar. Uma das preocupações em relação ao processo de inventariação dizia respeito à conexão entre o projeto organizado na pós-graduação e a comunidade escolar. Um dos elementos que torna pertinente a ação de salvaguarda de objetos e documentos é ter a própria comunidade escolar como sujeito ativo no processo, como forma de posibilitar acessso ao entendimento, fomentar a valorização e posssibilitar um tipo de formação, feita pela relação entre o patrimônio e o ensino, com o uso daquilo que está disponível no museu histórico do colégio. Portanto, houve a necessidade de articular os conhecimentos relativos à guarda e salvaguarda da coleção aos procesos educacionais do colégio.

No caso dos aspectos ligados à formação de recursos humanos especializados, é importante apontar, dentre outros elementos, o significado de tornar-se competente na lida com diferentes materiais brutos, pois, objetos científicos históricos são materiais

constituídos de diferentes elementos. Trata-se portanto de saber tratar, no plano da salvaguarda, com madeira, cobre, ferro, aço, zinco, alumínio, lona etc. Todos esses materiais pedem, cada um deles, um cuidado especializado, particular, em relação à higienização, à conservação, visando a estabilização da peça.

A vertente de ensino pelo patrimonio ocasionou o contato com as alunas que passaram à experiência de sujeitos atuantes em um projeto científico acadêmico. Da relação estabelecida, guia-se o trabalho para a compreensão da importância histórica dos acervos que estão à vista de todos, mas que nem sempre são compreendidos como elementos de ensino e pesquisa, estando "naturalizados" enquanto expostos pelos armários. Dessa realidade, estimulamos corpo de investigadoras que representa essa comunidade, alunas de ensino médio. Essa fase do trabalho pensa o uso do patrimônio histórico da escola à maneira de Vinão-Frago (2011 e 2012), quando este aponta para a necessidade de vinculá-lo ao ensino e à pesquisa e sobre a possibilidade de usá-lo como fonte para as aulas na atualidade, respectivamente.

O primeiro passo para a conexão ensino e pesquisa aconteceu durante o "Projeto Escolha". Este projeto é uma ação curricular da escola desde 2013 e procura estimular a construção de livres habilidades e aprendizagens, segundo ao que foi divulgado durante o proceso de construção da oficina. A proposta foi elaborada a partir das matrizes curriculares dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), dentro do eixo Natureza/Humanidades e Linguagem. Estando costurado aos objetivos da própria escola, o projeto de formação considerou a possibilidade de ensinar os procedimentos da pesquisa, para que as jovens compreendessem todos os processos de uma pesquisa, desde o tratamento do documento até a divulgação de seus resultados à comunidade científica.

No primeiro momento, foi proporcionada um *Workshop* denominado "O ofício do Historiador", estimulando o contato dos alunos com as peças. Buscou-se ensinar os procedimentos básicos

do trabalho do historiador, apresentando ideias e noções sobre a cultura material e os meios utilizados para a retirada de dados e informações das peças que foram apresentadas durante as atividades. Foram cinco as jovens que seguiram com o grupo de pesquisa.

Figura 4: Iniciação Científica – Ensino Médio, março de 2017.

Fonte: Memorial do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo

Na sequência do trabalho, o grupo passou a higienizar, registrar os dados na base de dados, organizar as listas com as tipologias, fotografar as peças, identificá-las, incluindo informações no banco de dados, etiquetá-las. Ao final, a equipe composta por alunas do colégio registrou partes dos seus trabalhos em uma comunicação oral apresentada no IX Congresso Brasileiro de História da Educação, acontecido na cidade de João Pessoal, em agosto de 2017[80].

80 Cf. o trabalho: Braghini, Katya M.Z; Isaac, Amabile. M. R.; Cote, Larissa. C.; Figueiredo, Livia. B.; Matos da Silva, Mariana; Prada de Lima, Mariana. Museu escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo (fase 1): planejamento e organização do inventário dos instrumentos científicos: A coleção de ótica.

Esta comunicação é um relatório das atividades feitas em torno da inventariação da coleção de ótica, por elas escolhida. Foram apresentados um breve histórico das coleções científicas que estão sob investigação; os trabalhos desenvolvidos pelas pesquisadoras; a ficha de catalogação usada na ação e o instrumento de pesquisa, finalizando com a apresentação dos resultados parciais do levantamento de dados, dando destaque às empresas fabricantes dos objetos, evidenciando o caráter transnacional do comércio pedagógico científico voltado à ótica e, também, às tipologias de materiais usados no colégios, tais como espelhos, projetores, prismas, lentes etc.

Considerações Finais

O inventário da coleção de Física do Museu Escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo encontra-se finalizado e foi aberto ao público em fevereiro de 2019. A base de dados é aberta, pública, sem restrições de usos para a pesquisa, estimula o processo de conhecimento e dá vistas a um patrimônio que, sendo privado, faz-se de interesse público à comunidade de investigadores de todos os tipos.

A base de dados foi construída a partir de critérios científicos para a localização, descrição, apontamento da natureza do objeto, registro de aspectos históricos e arqueológicos, dá vistas a interesses do pesquisador preocupado com o patrimônio educativo, científico; aos processos de inventariação; aos movimentos de salvaguarda na relação entre os aspectos técnicos e museológicos, com a constituição de pesquisas que valorizem o próprio acervo.

A base de dados ainda permite a inclusão de novas informações que forem encontradas em outros acervos, centro de pesquisa e dentro do próprio Colégio Marista. Também é pela base de dados que se pode controlar o acervo no sentido de montagem de planos de conservação, tendo em vista a clara apresentação das

peças que necessitam de reparos, intervenção conservativa e procedimentos de higienização.

O relatório pode ser gerado a partir da base de dados. Por exemplo, caso queiramos ver os indicados como fabricantes pelo relatório, podemos ter uma lista de nomes com a designação de país, quando encontrada. O acervo se apresenta transnacional, com peças de quase todos os continentes, exceção feita à Oceania. Há peças da Maison Deyrolle, Les Fils d'Emilie Deyrolle, Ducretet, Machlet, Radiguet & Massiot, Max Kohl, Winkel Zeiss, Carl Zeiss, Welch Scientific Company, Hartmann and Brown, WM Welch Scientific Company, General Eletric, RCA Company, entre outros. Há também empresas brasileiras, tais como: Otto Bender, Franz Sturn Cia Ltda, Techné São Paulo, Meister Irmãos etc.

Há também a possibilidade de recuperação de informações e dados para a montagem de catálogos específicos ligados aos interesses dos pesquisadores, pensando a aglomeração dos dados brutos a partir de categorias de pesquisa: por tipologia, fabricante, estado de conservação e sub-ramos da disciplina de Física.

A pesquisa contribuiu para o avanço do estado da arte em matérias ligadas aos estudos de museologia pedagógica, patrimônio científico e estudos da cultura material pensando a transferência de conhecimento entre as áreas. Essa discussão deve ser aprofundada em outros produtos científicos. Isso nos faz pensar sobre os significados de uma pesquisa no sentido técnico e intelectual, pois o trabalho foi feito com uma grande quantidade de materiais o que exigiu a ampliação de varios conhecimentos, como por exemplo, noções de metalurgia.

O próprio processo do inventário, a montagem de listas, a busca por conhecimento sobre os ramos e subdivisões da Física foram decisivos para um bom andamento dos trabalhos. Não se pode esquecer que a maioria dos pesquisadores, que se agremiam na pós-graduação, em história da educação, no Brasil, são

oriundos da grande área das ciências humanas, portanto há historiadores, e também, pedagogos, sociólogos, psicológos, dentre outros e não é simples fazer uma abordagem nas áreas das ciencias naturais, sem um contato interdisciplinar.

Há também que se considerar o trabalho com objetos históricos, nos aspectos sensoriais, pois os sentidos são operados ao longo de toda a pesquisa, refinando-os. De uma maneira prática, o pesquisador passa a considerar os aspectos tangíveis da peça como forma de captação de conhecimento. Objetos trazem à realidade sensorial as informações que necessitamos para pensar as práticas, a partir da manipulação e observação atenta dos seus usos e funções. Essa ação nos traz significados categóricos sobre as concepções de conhecimento e de ciência do passado e as ações de professores e alunos em sala de aula, entre tantas outras coisas.

Portanto, oferecendo informações e dados intrínsecos à peça, mostra o dinamismo histórico dos materiais pensados para a composição de um artefato cultural, caso a caso. Além disso, o inventário fornece dados extrínsecos aos objetos, a partir do estudo de outras fontes e pesquisas, o que significa apresentar ao pesquisador interessado informações sobre o contexto histórico de sua invenção, aquisição, produção e uma parcela de significados que o constituem como objeto cultural e histórico.

Nesse caso, o inventário faz uma listagem de conhecimentos que dizem respeito aos valores estéticos, científicos, educacionais, econômicos e que também dizem respeito à cultura escolarou às práticas ditas etnográficas que vão ao encontro de um pedido do campo da história da educação sobre novas abordagens de pesquisa e o oferecimento de diferentes fontes de investigação.

Levando em conta a produção científica referente ao projeto, pode-se dizer que as metas de trabalho foram atingidas. Relatórios internos, parciais, foram produzidos visando a percepção da evolução dos trabalhos da equipe, bem como, elementos de ajustamento de direcionamentos julgados equivocados ou fora

dos interesses apresentados pelo projeto. Foram apresentados trabalhos acadêmicos de pesquisas e de ordens teóricas e técnicas, em revistas científicas, eventos acadêmicos e livros especializados.

No plano da história das ciências, também se buscam novas oportunidades de pesquisa que incluam a história do ensino das ciências no circuito das possibilidades de investigação da história social da ciência. Primeiro, por meio da apresentação da circulação e do uso dos instrumentos, maquinários, peças, implementos, brinquedos científicos nas aulas. Depois, porque a escola, como tecnologia de disseminação de ideias e valores, não se furtou da criação de representações sobre a ciência e foi ávida consumidora de material científico em escala planetária. Trata-se também da possibilidade de confronto entre a cultura científica de cientistas em relação à cultura científica difundida pelos processos de escolarização.

Também vemos a ampliação do entendimento de "documento histórico" passando não só pela criatividade do pesquisador no momento de formulação de perguntas de pesquisa, mas pela própria compreensão, teórica e metodológica, do que vem a ser um documento apropriado aos estudos históricos sobre a educação; além do domínio científico das listagens, constituídas dentro dos planos de guarda e divulgação da documentação foi disposta ao público.

Referências

BERNAL MARTÍNEZ, J. M.; DELGADO MARTÍNEZ, M. A.; LÓPEZ MARTÍNEZ, D. El patrimonio histórico-científico como recurso didáctico de la ciencia em el laboratorio a las ciencias para la vida In: BERRUEZO ALBÉNIZ, M. R.; CONEJERO LÓPEZ, S. (Coord.). **El largo camino hacia una educación inclusiva: la educación especial y social del siglo XIX a nuestros días:** XV Coloquio de Historia de la Educación. Pamplona- Iruñea: Universidad Publica de Navarra, v.2, p.605-614, 2009.

BRAGHINI, K. M. Z.; ASSIS, P. M. de; PEDRO, R. T., PINÃS, R. Q. Apresentação da ficha de inventário e história do museu escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo. **Revista Iberoamericana do Patrimônio Histórico Educativo**. Campinas (SP), v.2, n.2, p.73-91, 2016.

BARRETO, E. O. **Aspectos do trabalho experimental no ensino secundário de Física entre 1930 e 1960: um estudo a partir do acervo de instrumentos antigos da Escola Estadual Bento de Abreu de Araraquara (SP).** Dissertação (Mestrado em Educação Escolar), Faculdade de Ciências e Letras/UNESP Araraquara, 2014.

BRAGHINI, K. M. Z., PEDRO, R. T., PINÃS, R. Q. Museu Escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo: constituição, histórico e primeiros movimentos de salvaguarda da coleção. *Esboços*. **Revista da Pós-Graduação em História da Universidade Federal de Santa Catarina**, v.21, n.31, p.28-49, 2014.

BRAGHINI, K. M. Z; ISAAC, A. M. R.; COTE, L. C.; FIGUEIREDO, L. B.; MATOS DA SILVA, M.; PRADA DE LIMA, M. Museu escolar do Colégio Marista Arquidiocesano de São Paulo (fase 1): planejamento e organização do inventário dos instrumentos científicos: A coleção de ótica. IX Congresso Brasileiro de História da Educação, João Pessoa. **Anais** *História da Educação: global, nacional, regional*. SBHE, 2017, [s.n.].

FERREIRA et. al., O conjunto de objetos de ensino do laboratório de física do Colégio Pedro II. In: GRANATO, Marcus e LOURENÇO, Marta. **Coleções científicas luso-brasileiras: patrimônio a ser descoberto**. Rio de Janeiro: MAST, 2010, p.123-144

GRANATO, M. et al., **Cartilha de orientações gerais para preservação do patrimônio cultural de ciência e tecnologia**. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins, 2013.

GRANATO, M. Reflexões sobre o Patrimônio Cultural da Ciência e Tecnologia na Atualidade. **Revista Memória em Rede**. Pelotas, v.2, n.4, p.85-104, 2011.

GRANATO, M.; RIBEIRO, E. S.; ABALADA, V. E. T. M; ARAUJO, B. M. Objetos de ensino e o patrimônio cultural de ciência e tecnologia no Brasil e em Portugal: contribuições sobre levantamentos e inventários como instrumentos de preservação em escolas de ensino médio. **Anais do Museu Paulista**, v.26, p.1-41, 2018.

HEERING, Peter. The Educational Potential of Teaching Science as culture. v.25, **Science & Education**, v.25, n.7-8, p.745-746, 2016.

HEERING, P. History of Science and Science Education: New Conceptions, Old Instruments and Developing Institutions. **Interchange**. v.45, n.3-4, p.115–117, 2014.

MELONI, R. A.; GRANATO, M. Objetos de Educação em Ciências: um patrimônio a ser preservado. **Revista Pedagogia em Foco**, Iturama (MG), v.9, n.2, p.1-10, 2014.

MADI FILHO, J. I. **Animais taxidermizados como materiais de ensino em fins do século XIX e começo do século XX.** Dissertação. Mestrado em Educação. Pontifícia Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MELONI, R. **Saberes em CiênciasNaturais: o ensino de Física e Química no Colégio Culto à Ciência de Campinas – 1873/1910.** Tese. Doutorado em Educação. Unicamp, 2010.

THESAURUS de acervos científicos em Língua Portuguesa. URL: http://thesaurusonline.museus.ul.pt/default.aspx [Último acesso em 23/12/2018].

VIÑAO FRAGO, A. Memória, patrimônio e educação. **Revista História da Educação**, Porto Alegre, v.15, n.34, p.31-62, jan./abr, 2011.

VIÑAO FRAGO, A. La história material y inmaterial de la escuola: memória, património y educación. **Educação**. Porto Alegre, v.35, n.1, p.7-17, jan./abr., 2012.

ZANCUL, M. C. S. Os instrumentos antigos do laboratório de Física da Escola Estadual Bento de Abreu de Araraquara. In: GRANATO M.; LOURENÇO, M. C. (Org.). **Coleções Científicas Luso-Brasileiras: patrimônio a ser descoberto**. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), 2010, p.145-158.

ZANCUL, M. C. S. Patrimônio educativo de C&T: objetos remanescentes nas primeiras escolas secundárias públicas do Estado de São Paulo. **Revista Museologia e Patrimônio**. v.11, n1. p.138-158, 2018.

LEITURA CONTEXTUALIZADA DE FONTES PRIMÁRIAS: SUBSÍDIOS PARA INCLUIR A HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS EM SITUAÇÕES DE ENSINO

Breno Arsioli Moura
Universidade Federal do ABC – UFABC
breno.moura@ufabc.edu.br

Introdução

Não é novidade que a história das ciências tem ocupado um lugar significativo nas últimas décadas, com trabalhos de naturezas, perspectivas e fundamentos diversos, mostrando suas potencialidades para melhorar o ensino de conceitos e ideias científicas, bem como sobre o desenvolvimento da própria ciência (MATTHEWS, 2014). Os demais capítulos desse livro, aliás, corroboram essa afirmação. No entanto, não é exagero reafirmar que a consciência de que a inclusão de aspectos históricos das ciências no ensino é relevante em diferentes aspectos não implica na solução de todos os problemas da educação científica. Há muitos nichos a serem explorados, sendo um deles a questão do *como*. Se é um relativo consenso que a história das ciências tem seu valor para o ensino, *como* implementá-la ou *como* obter dela seu máximo potencial são algumas das questões em constante discussão[81]. É por esse caminho que segue a proposta apresentada neste capítulo.

81 O levantamento feito por Teixeira et al., (2012) mostra como ainda é incipiente o número de trabalhos que abordam o *como* implementar a história das ciências

As protagonistas da proposta apresentada nesse capítulo são as fontes primárias da história da ciência, em especial, textos escritos, tais como artigos, cartas, manuscritos e livros[82]. Na literatura especializada brasileira, há alguns trabalhos sobre o uso das fontes primárias em situações de ensino (FORATO, 2009; BOSS, 2011; BATISTA et al., 2015; BOSS et al., 2016). Em geral, eles apontam as potencialidades das fontes primárias, mas alertam sobre as dificuldades inerentes da utilização desse material, tais como, dificuldade na leitura e entendimento de palavras e termos adotados que não são mais empregados, a estrutura textual diferente em relação aos livros e artigos atuais, a barreira da língua, uma vez que ainda há poucas fontes traduzidas para o português[83], entre outras.

A proposta descrita neste capítulo tem como um de seus objetivos aprimorar os benefícios ressaltados pelos autores citados anteriormente, bem como minimizar as dificuldades no trato das fontes primárias. Entendo que não se trata de uma ideia revolucionária ou totalmente nova. Meu propósito é estruturar e fundamentar a partir de alguns referenciais algo que possivelmente já vem sendo aplicado por diversos pesquisadores e professores na interface entre história das ciências e ensino. Certamente, toda a proposta está sujeita a modificações, adaptações e críticas e entendo isso como algo natural da pesquisa científica e historiográfica.

---

no ensino.

82 Essa especificação é fundamental, uma vez que fontes primárias podem englobar filmes, relatórios, planos, atas, diários etc (KRAGH, 2001, p.134-135). Para esses materiais, cuja estrutura textual e argumentativa pode diferir muito de um artigo, por exemplo, considero a proposta apresentada neste artigo não aplicável.

83 Há, no entanto, cada vez mais iniciativas que buscam minimizar essa questão, por exemplo, em Silva e Guerra (2015) e Silva e Silveira (2018), além de várias traduções publicadas em revistas especializadas, tais como a *Scientiae Studia*, a *Revista Brasileira de Ensino de Física* e o *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*.

A proposta de leitura contextualizada de fontes primárias (LC) está fundamentada no conceito de ensino contextualizado desenvolvido a partir de Klassen (2006) e adaptado em alguns de meus trabalhos (MOURA, 2012; MOURA; SILVA, 2014; 2018). De maneira geral, a LC envolve analisar uma fonte primária a partir de dois contextos – científico e metacientífico –, buscando trabalhar questões acerca da natureza da ciência (NdC). Para a discussão deste capítulo, uso como exemplo para a LC o episódio envolvendo Benjamin Franklin (1706-1790) e o experimento da pipa. A aplicação dessa LC foi feita de maneira piloto na disciplina "Evolução da Física", oferecida a todos os alunos da UFABC, onde leciono atualmente. A partir disso, espero que ao leitor sejam ofertados subsídios para que outras LCs possam ser implementadas, discutidas e adaptadas em outros contextos de ensino, promovendo a ampla utilização das fontes primárias da história das ciências.

Do "ensino contextualizado" de Klassen até a leitura contextualizada (LC)

O conceito de leitura contextualizada (LC) teve origem por volta de 2011, ao longo da elaboração da Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC), desenvolvida em meu doutoramento. A AMHIC foi uma proposta de ensino contextualizado de conteúdos históricos, aplicada a licenciandos em física de uma universidade pública brasileira, com o propósito de fomentar uma formação crítico-transformadora (MOURA, 2012; MOURA; SILVA, 2014; 2018). A fim de fundamentar e definir o que entendia por "contexto", "contextualização" e "ensino contextualizado", utilizei como um dos referenciais teóricos o trabalho de Klassen (2006), pesquisador canadense amplamente reconhecido pelo seu trabalho com narrativas para o ensino de conceitos científicos.

O trabalho de Klassen (2006) tem como base a proposta de Problema de Amplo Contexto, desenvolvida na década de 1970

por Arthur Stinner e aplicada com alunos canadenses ao longo das décadas seguintes[84]. Segundo Klassen (2006, p.31, tradução livre), "a ideia de contextualizar o conteúdo ensinado tem se tornado um tipo de mantra para vários movimentos de reforma [educacional]". Klassen aborda as críticas aos modelos tradicionais de ensino, baseados no ensino e aprendizagem apenas de conceitos científicos descontextualizados e aponta a significativa oposição do movimento construtivista. Seguindo as perspectivas desse movimento, que enaltece a importância do contexto no processo de ensino e aprendizagem de ciências, ele propôs construir um referencial teórico para o ensino contextualizado.

Klassen (2006, p.35, tradução livre) define contexto como "as entidades que se conectam com ou rodeiam uma entidade focal e contribuem para a significação do todo". Segundo ele, a entidade focal poderia ser, por exemplo, uma habilidade ou conceito científico. Partindo desta definição e buscando construir um referencial teórico para elaborar propostas utilizando os Problemas de Amplo Contexto, Klassen delineou uma metodologia baseada em abordagens contextualizadas para ensinar conceitos científicos a estudantes de ensino médio, a qual denominou de Abordagem Contextualizada Guiada por Narrativas (SCDA)[85]. Para ele, a contextualização no ensino de conceitos científicos pode ser alcançada se o processo de ensino e aprendizagem levar em conta cinco contextos importantes: prático, teórico, social, histórico e afetivo.

Em relação ao contexto prático, Klassen (2006) defende que o modelo de ensino prático deve ser aquele em que o estudante desempenhe o papel de cientista aprendiz, tendo como referência a ideia de que "o trabalho prático é autêntico, no sentido de ser semelhante àquele realizado por cientistas em atividade"

---

84 Do inglês, *Large Context Problem*. Para mais detalhes sobre essa proposta, ver Stinner (2006) ou < http://www.arthurstinner.com/> (acesso em fev. 2019).

85 Do inglês, *Story-Driven Contextual Approach*.

(KLASSEN, 2006, p.41, tradução livre). Nessa perspectiva, haveria contextualização, uma vez que não seria levado em conta apenas os produtos da ciência – ideias, leis, teorias – mas todo o processo que norteia suas construções. Sobre o contexto teórico, Klassen indica que o processo de compreensão de um fenômeno vai além da percepção sensorial, trazendo à tona a ideia da estreita relação entre teoria e observação. Segundo ele, em uma abordagem contextualizada, a perspectiva teórica de um conceito ou habilidade científica também contribui para colocar o estudante no papel de um cientista aprendiz, visto que o estudo conceitual de um problema também faz parte do trabalho científico e do processo de construção da ciência.

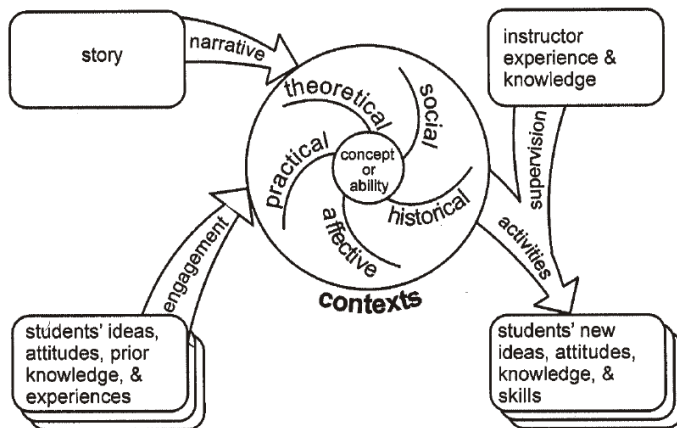
No contexto social, Klassen (2006) se debruça sobre a questão do trabalho cooperativo entre os estudantes, uma vez que a colaboração também é parte do fazer científico: "[...] cada membro deve acreditar que ele ou ela não pode ser bem sucedido sem os outros membros e vice-versa" (KLASSEN, 2006, p.46, tradução livre). Para sustentar a importância do contexto social, o autor utiliza como base a ideia de que a aprendizagem é resultado da interação social, presente nos trabalhos de Lev Vygotsky (1896-1934)[86]. Uma abordagem contextualizada da ciência deve levar em conta atividades em grupo, de modo a possibilitar uma melhor socialização e intercâmbio de ideias e experiências entre os estudantes. Por sua vez, o contexto histórico envolveria a inclusão de conteúdos históricos na discussão do conceito ou habilidade científica central, a entidade focal em sua proposta. Klassen menciona, entre outros pontos, o valor das fontes primárias, ligando novamente à ideia de ter o estudante como um cientista aprendiz. Contudo, o autor aponta para as possíveis dificuldades no

86 Para mais detalhes, ver Vygotsky (2008).

uso destas fontes, principalmente em relação aos seus estilos de linguagem e ao conteúdo matemático.

Por fim, o contexto afetivo relaciona-se com o engajamento dos estudantes. Segundo Klassen (2006), para que o estudante se envolva na aprendizagem dos conceitos científicos, deve haver uma ligação emocional entre ele e o conceito envolvido. Para que ele aprenda, ele deve querer aprender. A fim de promover esta motivação, Klassen (2006) destaca o valor do uso de narrativas. Em outro trabalho, Klassen definiu as narrativas como "uma descrição coerente de uma sequência temporal de eventos que possuem um elemento intencional ou causativo e relata a progressão a partir de um estado inicial, passando por um evento intermediário, até um estado final" (2010, p.307, tradução livre). Para ele, embora os demais contextos conversem naturalmente entre si, é crucial o envolvimento do aluno na atividade, e isso pode ser obtido com o uso das narrativas. Ao ouvir ou ler uma narrativa, o aluno seria encorajado a participar das experiências vividas pelo protagonista, o que facilitaria seu aprendizado e seu engajamento.

Definidos os cinco contextos importantes para ensinar, Klassen (2006) apresentou a metodologia SDCA. Em linhas gerais, a proposta baseia-se na apresentação de uma narrativa científica, que engajaria os estudantes – com suas ideias e concepções prévias – em atividades imersas nesses cinco contextos e teria como entidade focal um conceito ou habilidade científica. Por meio da supervisão do professor na realização das atividades, os estudantes desenvolveriam novas ideias e atitudes em relação à ciência. A representação gráfica original pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 - Esquema apresentado por Klassen (2006, p.56) representando graficamente a Abordagem Contextual Guiada por Narrativas (SDCA).

Como uma proposta de referencial teórico, o trabalho de Klassen (2006) ganhou diferentes interpretações e caminhos ao longo dos anos. O próprio autor, por exemplo, avançou a discussão de outros pontos, especialmente a ideia de narrativas, apresentando em trabalhos os seguintes exemplos com viés histórico (KLASSEN, 2007; 2009). No Brasil, Schiffer e Guerra (2015) trabalharam sobre sua proposta, considerando o uso de narrativas históricas para o ensino de assuntos ligados à eletricidade.

Particularmente, considero o aspecto mais relevante de sua proposta a compreensão de contexto e contextualização. Ao invocar os contextos como agentes que dão sentido a um elemento central, Klassen (2006) elucida, ao mesmo tempo, a pluralidade de interpretações e perspectivas e a possibilidade de conectá-las a partir de algo em comum. Partindo disso, desenvolvi a AMHIC, citada no começo dessa seção. A abordagem envolveu o estudo de episódios históricos a partir de três contextos, científico – esse,

dividido em uma vertente prática e outra teórica –, metacientífico e pedagógico, em um viés problematizador.

O contexto científico é a dimensão de estudo dos episódios históricos em que são analisados os conceitos científicos imersos nele. Isso não se reduz ao entendimento acrítico dos conceitos, como regras a serem decoradas, mas à compreensão de sua gênese, estrutura e validade dentro do contexto em que foi produzido. O estudo dos episódios históricos por meio do contexto científico aproxima a historicidade do conhecimento, ao deixar claro que todo conhecimento é, por si só, histórico e, portanto, mutável. Já o contexto metacientífico envolve olhar para os episódios de fora, procurando estabelecer a presença de aspectos históricos, epistemológicos, filosóficos, sociológicos e culturais no desenvolvimento do conhecimento científico, ou seja, trata de questões da natureza da ciência (NdC). Complementa-se, assim, a visão introduzida a partir do contexto científico. Por fim, na AMHIC, o contexto pedagógico é constituído de momentos que fomentem a construção de saberes didático-pedagógicos para que o licenciando mobilize sua atitude crítico-transformadora em sua futura prática docente; é olhar para a historicidade do conhecimento pela lente da sala de aula.

Em certo sentido, essa abordagem pretendeu ser uma expansão do contexto histórico da proposta original de Klassen, mas voltada ao ensino superior. Ela abarcou, inclusive, extensa discussão de fontes primárias de Christiaan Huygens (1629-1695), Isaac Newton (1642-1727), Alessandro Volta (1745-1827) e Thomas Young (1773-1829) sobre a óptica e eletricidade. As fontes compreenderam manuscritos, artigos e extratos de livros[87]. No quadro 1 a seguir, está delineado como o episódio envolvendo a pilha de Volta foi trabalhado por meio dos contextos da AMHIC. Nesse

87 Os materiais de Huygens, Newton e Volta já contavam com tradução para o português. Trechos dos trabalhos de Young foram traduzidos por mim e posteriormente publicados (MOURA; BOSS, 2015).

caso, foi utilizada como fonte primária o artigo de Volta publicado em 1800 e traduzido por Magnaghi e Assis (2008).

Quadro 1 – Esquema geral dos assuntos trabalhados em cada um dos contextos da AMHIC para o episódio de Volta e sua pilha voltaica.

Contexto científico	**Vertente teórica**	1. Conceituação do modelo explicativo de Galvani sobre o „fluido nervoso" das rãs e os pressupostos teóricos que levou em conta (como, por exemplo, a ideia de „atmosfera elétrica" ou de eletricidade como fluido). 2. As ideias de Volta de que os metais atraíam eletricidade e a transmitiam através das rãs quando tocavam nelas e os conceitos relacionados à pilha por ele desenvolvida.
	Vertente prática	1. Análise dos experimentos com as rãs e com outros animais, que cuidados eram tomados e que fenômeno era observado. 2. Estudo sobre os instrumentos desenvolvidos por Volta no intuito de detectar eletricidade nos metais, como o eletrômetro e o eletróforo. 3. Discussão sobre a estrutura e funcionamento da pilha desenvolvida por Volta, dos metais utilizados, das condições necessárias para que a pilha produzisse fenômenos notáveis etc.
Contexto metacientífico		1. Discussão sobre as evidências produzidas e as interpretações diferentes dadas por Galvani e Volta; 2. A influência da invenção da pilha em outros âmbitos da sociedade, como a medicina e a literatura.
Contexto pedagógico		1. Contribuição do episódio histórico para o ensino do funcionamento de pilhas e baterias, levando em conta como seu desenvolvimento foi consequência do estudo sobre eletricidade animal. 2. Possibilidade de análise interdisciplinar do episódio, entre as áreas de Física, Química e Biologia.

Fonte: Moura (2012, p.160-161).

Nessa aplicação, percebi a necessidade de "contextualizar" as fontes, ou seja, não poderia simplesmente entregá-las aos estudantes e esperar que as lessem sem quaisquer dificuldades. Tomando como base a referência de ensino contextualizado adotada no plano mais geral da AMHIC, busquei ao longo das atividades inserir as fontes em seus respectivos contextos, analisando as discussões dos

autores e explicando termos utilizados na época. As dificuldades na leitura das fontes foram notáveis e muito semelhantes às apontadas pela literatura no tema.

Nos anos seguintes a essa aplicação piloto, continuei trabalhando com fontes primárias na graduação e pós-graduação, priorizando artigos e livros. Na UFABC, atuando nas disciplinas "Nascimento e Desenvolvimento da Ciência Moderna", "Evolução da Física" e "Tópicos em História das Ciências e da Matemática", analisei com os alunos fontes das mais diferentes áreas e autores, além dos citados anteriormente, por exemplo, Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), Ptolomeu (c.100 d.C. - c.170 d.C.), Nicolau Copérnico (1473-1543), Galileo Galilei (1564-1642), Abraham Trembley (1710-1784), Antoine Lavoisier (1743-1794), Joseph Priestley (1733-1804), Michael Faraday (1791-1867) e Albert Einstein (1879-1955). Grande parte dessas fontes, felizmente, foi traduzida para o português por historiadores da ciência ou tradutores profissionais. As atividades com fontes primárias envolviam, basicamente, uma leitura prévia do texto e, posteriormente, uma análise minuciosa de pontos relevantes de seus conteúdos. Foi cada vez mais notável a potencialidade das fontes para trabalhar questões de NdC, principalmente para apontar a mutabilidade das ideias científicas, as nuances da comunicação do cientista com seus pares, o papel da sociedade, da cultura e da política, entre outros.

Com o propósito de explorar todas essas potencialidades, um primeiro esboço de LC foi criado, em meados de 2017. Minha intenção foi estruturar os procedimentos costumeiramente trabalhados, dando a eles nomes, ordem e significações. O primeiro esboço abrangeu uma carta de Galileo a Benedetto Castelli (1578-1643) sobre a ciência e a religião, incluída no livro *Ciência e Fé* (GALILEI, 1988). O objetivo dessa LC foi apresentar e discutir os principais argumentos do filósofo natural italiano acerca da relação entre o conhecimento filosófico da natureza e o conhecimento religioso. A partir disso, intencionei problematizar a relação entre ciência e fé, mostrando que essa interação poderia ser complexa

e mutável. Essa LC foi aplicada em duas turmas da disciplina "Nascimento e desenvolvimento da ciência moderna" ao longo daquele ano. A estrutura e fundamentação da LC foram então aprimoradas, tomando a forma apresentada nas próximas seções.

Construindo a proposta de leitura contextualizada de fontes primárias (LC) a partir de um exemplo: Benjamin Franklin e a pipa

Nesta seção, abordarei as cinco etapas da construção da proposta de leitura contextualizada de fontes primárias (LC), utilizando como exemplo o episódio histórico envolvendo Benjamin Franklin e o experimento da pipa. A escolha por discutir a preparação por meio de um exemplo – e não simplesmente apresentando as etapas de modo generalizado – deu-se por permitir de antemão apontar os desafios e requisitos envolvidos na construção da LC. Ademais, a própria estruturação da fase de preparação – e também da aplicação, como descreverei na próxima seção – ocorreu ao mesmo tempo da definição das etapas, ou seja, não se definiu as etapas para depois encaixar o exemplo; foram dois processos complementares e simultâneos.

Antes de abordar as etapas, é necessário tecer um breve comentário acerca das circunstâncias que precederam a construção da LC. Assim como a disciplina "Nascimento e Desenvolvimento da Ciência Moderna", "Evolução da Física" é disciplina de caráter optativo e aberta a todos os estudantes da universidade. Como todas as disciplinas da UFABC, "Evolução da Física" deve ser trabalhada ao longo de doze semanas, que compõem o quadrimestre letivo[88]. Por ser a única disciplina de história da física na instituição, ela possui uma ementa aberta, que permite ao docente escolher episódios que julgue mais relevantes. Dessa maneira, como docente da disciplina desde 2014, geralmente a dividi em

88 Para mais detalhes da estrutura curricular da UFABC, sugiro a leitura de Xavier e Steil (2018).

quatro blocos, sendo três deles fixos: astronomia/mecânica, óptica e eletricidade. O quarto bloco abordou, em alguns anos, a física moderna e, em outros, a termodinâmica. No bloco dedicado à eletricidade, foi dada ênfase desde o início na consolidação da área, ao longo do século XVIII, principalmente na Europa. Nas primeiras vezes em que ofertei a disciplina, foram consideradas principalmente as contribuições de Stephen Gray (1666-1736), Charles Du Fay (1698-1739) e Jean-Antoine Nollet (1700-1770), com alguma discussão pontual sobre Franklin. Mais ao final do bloco, a área foi estendida, abordando também questões do galvanismo e do eletromagnetismo, especialmente os trabalhos de Luigi Galvani (1737-1798), Alessandro Volta (1745-1827) e Hans Christian Ørsted (1777-1851)[89].

Por volta de 2014, comecei a trabalhar mais intensamente com as ideias de Franklin, inicialmente sobre luz, e posteriormente sobre eletricidade. Após uma longa imersão na historiografia da eletricidade do século XVIII, nos estudos e na vida de Franklin e em questões de teoria da história e de tradução, foram feitas as primeiras traduções de seus textos. Não havia, até aquele momento, nenhuma tradução integral de textos científicos de Franklin para o português[90]. Um primeiro resultado foi publicado em Moura e Bonfim (2017) e o conjunto completo de traduções em Moura (2019)[91]. Dessa maneira, concluí que a LC poderia ser uma boa oportunidade de trabalhar esses textos em situações de ensino,

89 O trabalho com todos esses autores só foi possível porque há boa literatura em português sobre eles, inclusive com traduções de seus trabalhos (BOSS; CALUZI, 2007; MAGNAGHI; ASSIS, 2008; BOSS et al., 2012).

90 O único texto de Franklin em português até então era sua autobiografia, cuja primeira edição traduzida foi publicada na década de 1950 e pode ser encontrada até os dias atuais, em diferentes editoras.

91 Para uma parte das traduções, contei com o apoio da discente Thátyusce Bonfim, que recebeu entre 2014 e 2016 uma bolsa de Iniciação Científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

além de apresentar aos alunos materiais desse autor em português, em primeira mão. A partir de 2016, a parte do bloco de eletricidade destinada à Franklin foi ampliada e a LC com seus materiais começou a ser elaborada.

Primeira etapa: a escolha do tema e da fonte

A primeira etapa da preparaçãoda LC é a *escolha do tema e da fonte* que será utilizada nas atividades. O tema selecionado foi o episódio envolvendo Franklin e o experimento da pipa. Desde que Franklin começou a ocupar um lugar de destaque no bloco de eletricidade da disciplina "Evolução da Física", o episódio da pipa foi trabalhado, embora não com minúcia. Pelo fato de ele compor uma das anedotas mais famosas da história da ciência, concluí que seria uma chance de problematizá-lo com os estudantes, a fim de minimizar visões históricas distorcidas (GIL-PÉREZ et al., 2001). As versões mais comuns do episódio dizem que Franklin empinou uma pipa em meio a uma grande tempestade, com o propósito de confirmar a natureza elétrica dos raios. Com um raio atingindo a pipa e tendo comunicado sua eletricidade por meio de uma chave na outra extremidade do barbante, Franklin teria provado que os raios são semelhantes às descargas elétricas provocadas por garrafas de Leiden[92], diferindo apenas na dimensão. Uma das diversas gravuras ilustrando o experimento pode ser conferida na Figura 2.

92 Garrafas de Leiden foram um tipo primordial de capacitor, tendo sido inventadas na década de 1740. Sobre esse instrumento, ver Guerra e Jardim (2017) e Silva e Heering (2018).

Figura 2 – Franklin e o experimento da pipa.

Fonte: Cooley (1882, p.159)

Há poucos relatos fidedignos sobre a realização do experimento. Os mais completos são aqueles apresentados pelo próprio Franklin em uma carta de 1752 dirigida a seu correspondente na Grã-Bretanha, Peter Collinson (1694-1768), e publicada nas *Philosophical Transactions* da *Royal Society* (Franklin, 1752), e o de Joseph Priestley (1733-1804), descrito em seu livro sobre história da eletricidade até o século XVIII (PRIESTLEY, 1767, p.180-181). A carta, como será mostrado mais adiante, é bastante sucinta e apenas descreve como a pipa deve ser construída e mais algumas orientações complementares. A descrição de Priestley, por outro lado, é mais detalhada, e menciona até mesmo a participação de

um dos filhos de Franklin. As sucessivas distorções desse episódio têm gerado uma série de visões inadequadas sobre a natureza do trabalho científico, refletidas, por exemplo, em materiais didáticos (SILVA; PIMENTEL, 2008). A historiografia moderna sobre os trabalhos de Franklin tem contribuído para compreender mais adequadamente esse episódio e colocá-lo à luz de sua época (HEILBRON, 1970; COHEN, 1990).

Atrelada ao tema de estudo, está a escolha das fontes. De maneira geral, recomendo a escolha de fontes com traduções profissionais para o português, publicadas em livros ou em revistas especializadas. Nesse caso específico, utilizei minha própria tradução, mas ressalto que elas foram frutos de um demorado processo de pesquisa, descrito anteriormente, além de ter levado em conta características do ato tradutório (GROSSMAN, 2010). Traduzir um texto não é simplesmente passar de uma língua a outra, mas um processo que envolve compreender o conteúdo do material, sua mensagem, as prerrogativas e trajetória pregressa do autor ou autora, tornando o material traduzido um verdadeiro ato de criação (GUERRINI, 2018).

Alicerçado nesses pontos, defini as três fontes primárias que seriam trabalhadas na LC. Três delas fazem parte do livro de Franklin sobre eletricidade, o *Experiments andobservations on electricity, made at Philadelphia in America*, publicado em 1751[93]. A primeira é o ensaio "Opiniões e conjecturas sobre as propriedades e efeitos da matéria elétrica", escrito em 1749. Nesse extenso ensaio, Franklin escreveu sobre suas principais ideias em eletricidade e imaginou, de maneira mais formal que em escritos anteriores, experimentos e situações que poderiam mostrar que nuvens em

93 Ao contrário do que geralmente se imagina, o *Experiments and observations* não foi propriamente um tratado em eletricidade. Ele foi constituído de cartas enviadas por Franklin a Collinson desde 1747 e publicado com o auxílio desse último. Ao todo, foram publicadas cinco edições em inglês do livro, a última em 1774. Edições em alemão, italiano e francês também foram publicadas nesse intervalo.

tempestades estariam eletrizadas e que os raios poderiam ser descargas elétricas como as produzidas por garrafas de Leiden. Dentre eles, estava o que ficou conhecido como "experimento da guarita". Nesse experimento, uma guarita era colocada no topo de um edifício, e dela saia uma haste vertical metálica pontuda. O experimentador dentro da guarita, sobre um suporte isolante, poderia perceber faíscas assim que nuvens em uma tempestade passassem por cima da haste. Um detalhe essencial: Franklin não pressupôs a incidência de raios sobre a haste, mas imaginou que ela funcionasse simplesmente como um coletor de eletricidade das nuvens. No "Opiniões e conjecturas", o experimento foi apenas idealizado por Franklin; mais tarde, em 1752, ele foi reproduzido com sucesso na França. A segunda fonte é a carta de Franklin a Collinson contendo uma descrição do experimento da pipa. Além de ter sido publicada nas *Philosophical Transactions* em 1752, o texto foi inserido nas edições posteriores do *Experiments and observations*. Por fim, a terceira fonte é o livro de Priestley sobre história da eletricidade, especificamente seu relato sobre a realização do experimento da pipa. Enquanto o "Opiniões e conjecturas" fornece as ideias iniciais de Franklin para determinar se as nuvens em tempestades estavam eletrizadas ou não, as outras duas fontes apresentam os relatos restritos ao episódio da pipa. Portanto, as três compõem o conjunto necessário para trabalhar a LC no tema escolhido.

Segunda etapa: os conhecimentos prévios necessários à LC

A segunda etapa da preparação da LC envolve *estabelecer os conhecimentos prévios* necessários para trabalhar com a fonte. Esses conhecimentos prévios podem ser de vários tipos e fornecem as informações essenciais para que o conteúdo da fonte possa ser compreendido e estudado. Fontes que trabalhem com temas ou conceitos hoje considerados obsoletos, por exemplo, necessitam de explicações prévias, a fim de que os participantes

saibam quais eram os pressupostos e ideias da época em que elas foram produzidas e porque não são aceitos mais. De maneira complementar, em determinados casos, é preciso detalhar questões sociais, culturais, políticas etc., da época, a fim de entender os papéis desempenhados pelas fontes e por seus autores antes de discuti-los propriamente.

Para essa LC, foram definidos quatro conhecimentos prévios necessários: as ideias precedentes ao trabalho de Franklin e seus conceitos de um único fluido elétrico, do poder das pontas e da formação de tempestades. Descrevo nos trechos sequentes aspectos gerais desses conhecimentos e recomendo a leitura de estudos historiográficos específicos sobre Franklin e a eletricidade no século XVIII, a fim de complementar a discussão (HEILBRON, 1970; COHEN, 1990; ASSIS, 2010; MOURA, 2019). O leitor deve estar atento também para o fato de que os conceitos de Franklin discutidos a seguir estão obsoletos, ou seja, não compreendem a moderna concepção sobre a eletricidade e seus fenômenos.

Em relação às ideias precedentes de Franklin, foi considerado fundamental examinar a situação da eletricidade no século XVIII e as ideias de três autores: Gray, Du Fay e Nollet. Presumi que o conhecimento dessas questões seria importante para situar o trabalho de Franklin e sua importância no contexto dos estudos em eletricidade da época. A respeito de Gray, Du Fay e Nollet, esses autores contribuíram para estabelecer a eletricidade como um campo particular de estudos, descrevendo as principais propriedades e fenômenos elétricos. Foi por meio deles, por exemplo, que se notou a transmissão da eletricidade de um corpo a outro, a existência de corpos mais propensos a transmiti-la que outros, a repulsão e a atração de corpos eletrizados e as possíveis razões envolvidas etc. Du Fay e Nollet, em particular, distinguiram-se ao propor teorias para a eletricidade e o fluido elétrico. Enquanto o primeiro considerou a existência de dois tipos de eletricidade – vítrea e resinosa –, o segundo considerou a eletricidade como

um único fluido, afluindo e efluindo dos corpos eletrizados. Com base nessas diferentes perspectivas, ambos buscaram explicar os principais fenômenos elétricos conhecidos. Diversos autores – muitos brasileiros, inclusive – estudaram a eletricidade no século XVIII e os conceitos desses três filósofos naturais, cujos trabalhos foram referências para o desenvolvimento dessa etapa da LC (HEILBRON, 1970; COHEN, 1990; ASSIS, 2010; BOSS et al., 2012; SILVA, 2011).

Para a LC, também considerei importante que fossem compreendidos os principais conceitos da teoria elétrica de Franklin, tais como, (1) teoria de um único fluido elétrico[94]; (2) a eletrização positiva e negativa; (3) o poder das pontas; (4) suas ideias sobre o funcionamento da garrafa de Leiden; (5) a formação de temporais com raios e trovões, entre outros[95]. Dentre esses, foram tomados como imprescindíveis os conceitos 1, 3 e 5, detalhados a seguir.

Franklin acreditava que havia apenas um único fluido elétrico – contrariando a ideia de Du Fay, por exemplo –, o qual considerava algo *sui generis*. Partículas desse fluido se repeliam, mas eram fortemente atraídas por partículas dos corpos comuns. Por isso, todos os corpos tinham uma determinada quantidade de fluido elétrico em si que preenchia seus poros. O desequilíbrio dessa quantidade – para mais ou para menos – gerava fenômenos elétricos como as descargas ou a atração a pequenos objetos. Por exemplo, quando um corpo recebia mais fluido elétrico que seus poros poderiam comportar, formava-se ao redor dele uma espécie de atmosfera elétrica. Essa atmosfera poderia ser atraída por outro corpo com menos eletricidade que o natural, gerando uma descarga elétrica.

94 Nos textos de Franklin, os termos "fluido elétrico", "fogo elétrico" e "matéria elétrica" são sinônimos.

95 Para uma descrição desses e de outros conceitos de Franklin, ver Moura (2018).

Atrelado a esse conceito de um único fluido elétrico estava a descrição do poder dos corpos pontudos. Em seus primeiros estudos em eletricidade, comunicados a Collinson por volta de 1747, Franklin já havia descrito esse "maravilho efeito dos corpos pontudos" (MOURA, 2019, p.55). O efeito havia sido notado por um de seus colaboradores, Thomas Hopkinson (1709-1751). Sucintamente, o poder das pontas referia-se à capacidade que corpos pontudos tinham para "extrair" ou "lançar" fluido elétrico (MOURA, 2019, p.55). Segundo Franklin, quando um corpo pontudo era aproximado de um objeto eletrizado, ele "extraía" sua eletricidade; por sua vez, quando era afixado em um objeto, esse último não poderia ser eletrizado, uma vez que as pontas "lançavam" para longe o fluido elétrico. Nas comunicações seguintes, especialmente no ensaio "Opiniões e conjecturas", Franklin explorou mais esse conceito.

Por fim, suas ideias acerca da formação de temporais foram descritas em uma comunicação a Collinson escrita em 1749, antes do "Opiniões e conjecturas". Para Franklin, os temporais com maior incidência de raios e trovões eram formados no mar e, pela ação do vento, vinham para terra firme. Segundo ele, a água atraía fortemente o fluido elétrico e, no mar, ao se atritar com o sal, faria com que esse fluido das partes mais inferiores do oceano fosse para a superfície, deixando essa parte altamente eletrizada. Por consequência, o vapor da água do mar também estaria eletrizado. Esse vapor subindo e se condensando formaria as nuvens de tempestade. Por estarem com excesso de fluido elétrico, essas nuvens o descarregariam assim que se aproximassem de nuvens menos eletrizadas ou montanhas. A perda de fluido elétrico significava a perda da repelência que impedia as partículas de água de se juntarem, por isso, ao serem descarregadas, as nuvens liberavam a chuva. Para Franklin, essa engenhosa concepção explicava, por exemplo, porque as nascentes de grandes rios ficavam perto de montanhas.

Terceira etapa: definição dos contextos de análise

A terceira etapa da construção da LC é a *definição dos elementos dos contextos de análise*. Mantive, nesse ponto, uma estrutura semelhante à da Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC), considerando os contextos científico e metacientífico. Assim como na AMHIC e na concepção original de Klassen (2006), os contextos funcionam na LC como caminhos para a discussão que, quando conectados, oferecem uma compreensão ampla da fonte, de seu conteúdo e de seu processo de criação. De um lado, os elementos do contexto científico indicam quais tópicos, conceitos, ideias, proposições ou discussões científicas podem ser trabalhadas com as fontes. De outro, os elementos do contexto metacientífico recaem na natureza da ciência (NdC), assinalando quais questões acerca do fazer científico são evidentes a partir do estudo da fonte[96]. Assim, ficam claros quais são os assuntos que podem ser trabalhados com a LC, orientando sua aplicação. Para essa LC, os elementos definidos para cada contexto estão listados no quadro 2 a seguir.

96 A literatura sobre NdC é extensa e variada, com diversas concepções diferentes (HODSON, 2014). Não é meu intuito discorrer sobre esse assunto, mas saliento os elementos de NdC elencados no quadro 2 são específicos do episódio abordado, não fazendo referência direta a nenhuma das concepções mais conhecidas e debatidas na comunidade dos que estão na interface entre história das ciências e ensino de ciências (falo exclusivamente das concepções conhecidas como "aspectos consensuais", "semelhança familiar" e "ciência integral"). Certamente, o leitor é livre para atrelar os elementos do contexto metacientífico em qualquer uma dessas concepções.

Quadro 2 – Elementos dos contextos científico e metacientífico da LC.

Contexto científico	- Poder das pontas; - Eletrização das nuvens.
Contexto metacientífico	- Os primeiros estudos em um campo de conhecimento não apresentam, imediatamente, todas as suas propriedades; - Relevância e função de um experimento dentro de um conjunto de conhecimentos; - As ideias científicas não são aceitas prontamente; - Aspectos da comunicação de resultados na ciência; - Descobertas científicas podem ser idealizadas.

Quarta etapa: o elemento problematizador

A quarta etapa abrange *determinar o elemento problematizador*. Assim como na AMHIC, a problematização objetiva engajar os participantes, fazendo-os mobilizar seus conhecimentos prévios para a solução de um problema (MOURA, 2012, p.95-96). A partir de um viés freireano, a problematização pressupõe que o conteúdo das fontes não será simplesmente dado aos participantes, mas trabalhado de modo que nelas os problemas possam ser elucidados. Trata-se, assim, de uma ação dialógica entre proponente e participante.

Para o exemplo de Franklin e o experimento da pipa, foi definido como elemento problematizador à apresentação de gravuras e pinturas que retratam o experimento da pipa, entre elas, as mostradas nas figuras 2 e 3. Essa apresentação foi acompanhada das seguintes perguntas: *o que as imagens retratam?*; *quais detalhes chamam a atenção?*; *o que Franklin parece fazer?*. Com isso, esperava-se que os participantes identificassem os principais aspectos das figuras, tais como, a realização do experimento em meio a uma tempestade, a configuração da pipa, a presença da chave, as faíscas, a incidência de raios etc. Somente algumas dessas figuras mostravam todos esses detalhes. A partir disso, foram lançadas

mais três perguntas: *Franklin realmente fez o experimento da pipa?*; *Se sim, o que levou a propô-lo?*; *O que teria concluído?*.

Figura 3 – O experimento da pipa retratado em quadro de Benjamin West (1738-1820), por volta de 1816. O quadro atualmente faz parte da coleção do Philadelphia Museum of Art.

Fonte: <http://www.philamuseum.org/collections/permanent/57044.html>, acesso em abr. 2019.

3.5 Quinta etapa: estruturação da LC

A quinta e última etapa é a *estruturação da LC*. Com base nas etapas anteriores, trechos da fonte devem ser selecionados e, para cada um deles, é inserido um conjunto de subsídios fundamentados nos elementos dos contextos. Isso significa que cada trecho é esmiuçado, considerando os elementos dos contextos científico e metacientífico. Essa, portanto, é a etapa de sintetização, em que todos os pontos das etapas anteriores se conectam em uma proposta consolidada. A estrutura da LC para o episódio de Franklin e o experimento da pipa está descrita no quadro 3 a seguir[97]. O leitor notará que, para esse episódio, a LC focou mais nos elementos do contexto metacientífico. Para outras LCs, essa ênfase pode ser diferente. A parte dos "Subsídios para a LC" destacam os elementos do contexto científico e do metacientífico, a partir dos símbolos CC e CM, respectivamente. A argumentação buscou trabalhar de maneira integrada os dois contextos, de forma que os principais aspectos das fontes pudessem ser explorados em sua integralidade.

97 Na aplicação na disciplina "Evolução da Física", foram considerados mais trechos do "Opiniões e conjecturas". Por uma questão de espaço, não foram disponibilizados neste capítulo, mas os que foram são suficientes para ilustrar o exemplo.

Quadro 3 – A estrutura da LC para o episódio de Franklin e o experimento da pipa. Na parte dos "Subsídios para a LC" foram indicados pelas siglas CC e CM, respectivamente, referências ao contexto científico, ao contexto metacientífico e ao elemento problematizador. Os trechos foram extraídos de Moura (2019), onde os textos de Franklin estão traduzidos para o português. As palavras entre colchetes foram incluídas por mim, a fim de complementar o sentido de uma frase ou termo.

Trecho 1
Fonte: "Opiniões e conjecturas"
[...] *não poderia o conhecimento desse poder das pontas ser útil para a humanidade, em preservar casas, igrejas, navios etc., do alcance dos raios, por nos direcionar a fixar nas partes mais altas desses edifícios hastes verticais de metal, feitas afiadas como uma agulha e douradas para prevenir o enferrujamento, e do pé dessas hastes um fio para baixo do exterior do prédio, para o chão, ou para baixo ao redor de uma das mortalhas de um navio, e para baixo ao lado dela até que ela atinja a água? Essas hastes pontudas provavelmente não extrairiam o fogo elétrico silenciosamente de uma nuvem antes que ela chegasse perto o suficiente para golpear, e assim nos assegurariam desse mal mais súbito e terrível?* *Para determinar a questão se as nuvens que contêm raios estão eletrizadas ou não, eu proporia um experimento para ser tentado onde ele possa ser feito convenientemente. No topo de alguma torre alta ou campanário, coloque um tipo de guarita (como na Fig. 9)*[35] *grande o suficiente para conter um homem e um suporte elétrico. Do meio do suporte, deixe uma haste de ferro subir e passar dobrando para fora da porta, e então para cima 20* [≈ 6 m] *ou 30 pés* [≈ 9 m], *a ponta sendo bem afiada no final. Se o suporte elétrico for mantido limpo e seco, um homem de pé em cima dele quando tais nuvens estão passando baixo, poderá ser eletrizado e produzir faíscas, a haste extraindo fogo* [elétrico] *da nuvem para ele. Se algum perigo ao homem for percebido (embora eu acho que não existiria nenhum) deixe ele ficar no chão de sua guarita, e ocasionalmente traga para perto da haste o laço de um fio que possui uma das extremidades amarradas aos fios condutores* [aterrados], *ele o segurando por um cabo de cera, tal que as faíscas, se a haste for eletrizada, golpeará da haste para o fio, e não o afetará.* (MOURA, 2019, p.103-104).

98 Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Ilustração original de Franklin. Nela, é possível ver a guarita, uma parte da haste (que se estenderia até bem mais acima) e o suporte isolante onde o experimentador deveria ficar.

Fonte: Franklin (1769, plate I).

Subsídios para a LC
Nesse trecho, Franklin descreveu, inicialmente, uma possível utilização rática do poder das pontas e, em seguida, o experimento da guarita. Alguns pontos do trecho destacam-se. Em primeiro lugar, nota-se que Franklin reforçou a necessidade da haste ter uma ponta "bem afiada no final" (CC). Isso significa que ele esperava extrair eletricidade das nuvens, tomando como referência o efeito que corpos pontudos tinham quando aproximados de corpos eletrizados. Se a eletricidade nas nuvens fosse a mesma daquela presente nos corpos comuns, ela também deveria ser extraída por corpos pontudos, segundo sua concepção. Em segundo lugar, percebe-se que Franklin não pareceu considerar o experimento perigoso. Pode-se até imaginar certa negligência nesse sentido, mas vale salientar que, no trecho, Franklin não mencionou a incidência de raios da haste. Ou seja, a princípio, Franklin esperava que a haste extraísse "silenciosamente" o fluido elétrico das nuvens "antes que ela chegasse perto o suficiente para golpear", o que não configuraria uma situação de perigo ao experimentador. De acordo com nosso conhecimento atual sobre a eletricidade, mesmo assim, essa seria uma situação de risco. Isso ressalta como, na época de Franklin, a eletricidade ainda era um campo de conhecimento em construção, com suas propriedades e fenômenos sendo gradualmente estudados e definidos (CM).

O experimento da guarita é frequentemente associado ao desenvolvimento dos para-raios. É evidente que Franklin percebeu que a haste poderia evitar a incidência de raios, ao retirar a eletricidade das nuvens. Porém, o experimento não foi desenvolvido com essa função, mas a de verificar se essa eletricidade era a mesma produzida por máquinas elétricas e armazenadas em garrafas de Leiden (CM).

O trecho também sugere que Franklin não realizou o experimento na época da redação do "Opiniões e conjecturas". Ao dizer que "proporia", ele possivelmente imaginou que o experimento daria resultados satisfatórios, com base nos seus conceitos de fluido elétrico e de poder das pontas (CC). O experimento foi reproduzido com sucesso na França, em 1752, contribuindo para a popularização de suas ideias entre os europeus. Houve, no entanto, alguns problemas. Por um lado, surgiu o receio de que essa eletricidade das nuvens ou mesmo os raios atingindo a haste pudessem ser acumulados no solo, gerando terremotos. Além disso, nem todas as reproduções foram bem-sucedidas. Em 1753, George Wilhelm Richmann (1711-1753) morreu após ter seu aparato atingido por uma descarga elétrica, o que diminuiu um pouco o entusiasmo dos filósofos naturais pelo experimento.

Trecho 2
Fonte: Carta de Franklin a Collinson, contendo a descrição do experimento da pipa

Como frequente menção é feita em artigos públicos da Europa sobre o sucesso do experimento [da]*Filadélfia para extrair o fogo elétrico de nuvens por meio de hastes de ferro pontudas erguidas em prédios altos etc., pode ser propício aos curiosos serem informados que o mesmo experimento foi exitoso na Filadélfia, embora feito de maneira diferente e mais fácil, conforme segue explicado.*

Faça uma pequena cruz de duas tiras leves de cedro, os braços tão longos de forma a alcançar os quatro cantos de um largo lenço fino de seda quando estendido. Amarre os cantos do lenço às extremidades da cruz, de modo que tenha o corpo de uma pipa, a qual sendo suprida com uma cauda, laço e barbante, subirá no ar, como aquelas feitas de papel. Porém, essa sendo feita de seda, é mais apropriada para enfrentar a umidade e vento de uma tempestade com raios e trovões sem rasgar. No topo da tira vertical da cruz deve ser afixado um fio pontudo muito afiado, erguendo-se um pé [≈ 30 cm] *ou mais acima da madeira. Ao final do barbante, próximo à mão, deve ser amarrado um laço de seda, e onde a seda e o barbante se unem uma chave deve ser amarrada.*

A pipa é para ser elevada quando um temporal com raios e trovões parece estar vindo, e a pessoa que segura o barbante deve ficar dentro de uma porta ou janela, ou sob alguma cobertura, tal que a fita de seda não possa ser molhada, e cuidado deve ser tomado para que o barbante não toque a moldura da porta ou janela. Assim que qualquer das nuvens carregadas passar por cima da pipa, o fio pontudo extrairá o fogo elétrico delas, e a pipa, junto com todo o barbante, será eletrizada, e os filamentos soltos do barbante se sobressairão por toda a extensão e serão atraídos por um dedo

que se aproxima. E quando a chuva tiver molhado a pipa e o barbante, tal que ele possa conduzir livremente o fogo elétrico, você perceberá ele fluindo para fora [o fogo elétrico] *abundantemente a partir da chave na aproximação de seu nó dos dedos. Por essa chave, a garrafa* [de Leiden] *pode ser carregada e pelo fogo elétrico assim obtido, espíritos podem ser excitados, e todos os outros experimentos elétricos ser realizados, os quais são usualmente feitos pelo auxílio de um globo de vidro ou tubo friccionado e, por meio disso, a uniformidade da matéria elétrica com aquela dos raios* [é] *completamente demonstrada.* (MOURA, 2019, p.139-140).

Subsídios para a LC

O trecho anterior corresponde à totalidade da carta de Franklin a Collinson sobre o experimento da pipa. Como mencionei na seção XXX, a carta é breve e contém apenas direções de como construir a pipa. Novamente, percebe-se que Franklin não pensou em um raio atingindo a pipa, mas que ela coletasse fluido elétrico das nuvens da mesma forma que a haste metálica no experimento da guarita. Além disso, friso a menção à facilidade do experimento em relação ao da guarita, o que revela que Franklin o considerou como uma versão desse último. Não há, nesse sentido, uma exclusividade no experimento da pipa (CM). Ressalto, ainda, que o caráter objetivo e essencialmente descritivo do texto sugere que Franklin comunicou a Collinson o experimento não como um grande feito, mas como um simples outro modo de detectar a eletricidade das nuvens em tempestades (CM).
Há outros aspectos da carta igualmente interessantes. Franklin dá a entender que o experimento da pipa foi efetivamente realizado por ele. Não parece haver, até os dias atuais, qualquer confirmação de que Franklin realizou o experimento, gerando controvérsias entre historiadores da ciência. Outrossim, o francês Jacques de Romas (1713-1776) teria pleiteado a concepção do experimento, em uma contenda que Franklin optou por não se envolver. De todo modo, feito ou não, o experimento da pipa não parece ter ocupado lugar de destaque na teoria elétrica de Franklin, pois em sua autobiografia, ele o mencionou apenas uma vez, como uma variante do experimento da guarita (MOURA, 2019, p.138).

Trecho 3

Fonte: Livro de Priestley sobre história da eletricidade, publicado em 1767.

Como cada circunstância relacionada a uma descoberta assim tão capital como essa (a maior, talvez, que foi feita em toda a abrangência da filosofia desde o tempo de Sir Isaac Newton) não possa senão dar prazer a todos os meus leitores, devo tentar satisfazê-los com a comunicação de algumas particularidades as quais obtive da melhor autoridade.

O Doutor [Franklin], *depois de ter publicado seu método de verificar sua hipótese acerca da igualdade da eletricidade com a substância do raio, estava esperando*

para a instalação de um pináculo na Filadélfia para colocar suas ideias em prática, não imaginando que uma haste pontuda, de tamanho médio, poderia responder a esse propósito, quando isso ocorreu a ele, que, por meio de uma pipa comum, ele poderia ter um acesso mais rápido e melhor às regiões de trovão que por qualquer pináculo que fosse. Preparando, portanto, um lenço de seda largo e duas varetas cruzadas de comprimento apropriado, sobre as quais ele se estende, ele aproveitou a oportunidade da primeira aproximação de uma tempestade com trovoada para caminhar por um campo, no qual havia um abrigo adequado para seu propósito. Mas, temendo o ridículo o qual tentativas malsucedidas na ciência muito comumente encontram, ele informou seu experimento pretendido a ninguém exceto seu filho, que o ajudou a erguer a pipa.

A pipa sendo erguida, um tempo considerável passou antes que houvesse qualquer sinal dela sendo eletrizada. Uma nuvem muito promissora tinha passado sobre ela sem qualquer efeito. Quando, demoradamente, ele quase estava começando a perder a esperança em seu esquema, observou algumas linhas soltas do barbante de cânhamo ficando eretas e evitando umas às outras, como se tivessem sido suspensas em um condutor comum. Surpreso com essa aparição promissora, ele imediatamente apresentou seu nó [dos dedos] *à chave, e (deixe o leitor julgar o extraordinário prazer que deve ter sentido naquele momento) a descoberta estava completa. Ele percebeu uma faísca elétrica muito evidente. Outras* [faíscas] *sucederam, mesmo antes do barbante estar molhado, tal a colocar o assunto fora de toda disputa, e quando a chuva tinha molhado o barbante, ele coletou fogo elétrico muito copiosamente. Isso aconteceu em junho de 1752, um mês depois que os eletricistas na França tinham verificado a mesma teoria, mas antes de ele ter ouvido qualquer coisa que tivessem feito* (MOURA, 2019, p.134-135).

A descrição de Priestley contrasta significativamente com a carta objetiva de Franklin, contendo detalhes não encontrados em outras descrições do estadunidense. Supõe-se que o relato é fidedigno, uma vez que Franklin auxiliou Priestley na concepção do livro (SCHOFIELD, 1997, p.142). Priestley fornece, por exemplo, informações sobre o momento em que Franklin teria empinado a pipa. Além disso, ele menciona a companhia de um dos filhos de Franklin e as razões pelas quais ele não teria comunicado sua intenção a mais ninguém. Segundo Priestley, Franklin teria ficado receoso de ser ridicularizado. Em grande parte, isso se confirma, considerando que, até essa época, os textos de Franklin ainda estavam ganhando atenção dos filósofos naturais britânicos e ele mesmo afirmou que muitos riram de suas ideias (FRANKLIN, 1996, p.121). Isso ressalta como suas ideias levaram certo tempo para serem amplamente aceitas no contexto europeu, especialmente o britânico (CM). Um outro aspecto da descrição de Priestley – matéria, aliás, de controvérsia entre historiadores – é a presença de seu filho. De um lado, há a posição de que Franklin não o exporia ao perigo e, de outro, a suposição de que, como ele não julgava a situação perigosa – conforme a descrição do experimento da guarita

no “Opiniões e conjecturas” –, ele não viu obstáculos nessa colaboração (MOURA, 2019, p.136). Ademais, a referência ao fato de que Franklin não conhecia a reprodução francesa denota, mais uma vez, particularidades da comunicação científica no século XVIII, em especial, a relativa demora que ideias e feitos da filosofia natural demoravam a chegar de um continente a outro, em contraste com a rápida divulgação nos dias atuais (CM).

Por fim, parece ser em Priestley a possível origem para a anedota referente ao experimento da pipa. Ele menciona a descoberta “capital” da relação entre a eletricidade e os raios, descrevendo, logo em seguida, o experimento. De fato, grande parte das imagens que retratam a realização do experimento mostram Franklin na companhia de mais uma pessoa – como a gravura da figura 2 –, supostamente o filho mencionado por Priestley, o que corrobora a tese de que o episódio da pipa foi idealizado e levado a um *status* que não possuía em seu contexto original (CM).

A aplicação da leitura contextualizada de fontes primárias (LC)

Nesta seção, descrevo alguns detalhes da aplicação da leitura contextualizada de fontes primárias (LC) discutida na seção anterior, mencionando as etapas da fase de aplicação. Consoante ao relatado anteriormente, a LC foi aplicada em caráter piloto na disciplina “Evolução da Física”, em uma turma do 1º quadrimestre de 2018. Na ocasião, a turma tinha cerca de 25 alunos, distribuídos nos mais diferentes cursos.

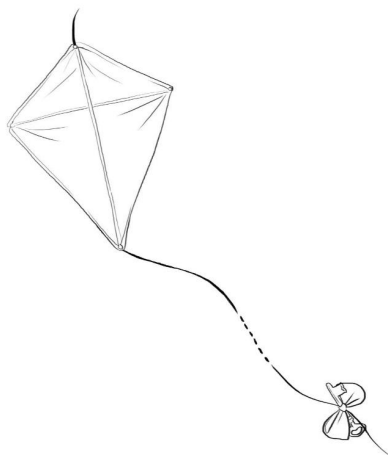
Assim como a fase de construção, a fase de aplicação da LC envolveu cinco etapas. A primeira delas foi a *discussão dos conhecimentos prévios*. Foram destinadas duas aulas de duas horas para o trabalho com os conceitos de Gray, Du Fay e Nollet, bem como à apresentação do estado da eletricidade até o início do século XVIII. Em seguida, dentro desse mesmo ínterim, foram explorados os principais conceitos da teoria elétrica de Franklin. As aulas foram essencialmente expositivas, com espaço para debate e esclarecimento de dúvidas. Nessa etapa, o principal desafio foi condensar um grande número de ideias e eventos diferentes em algumas poucas horas, sem recair na superficialidade. De modo geral, o resultado pareceu satisfatório.

A segunda etapa da aplicação, ocorrida nos primeiros trinta minutos de outra aula de duas horas foi a *problematização*. Nesse momento, foram mostradas cinco imagens retratando o experimento da pipa, todas muito posteriores ao experimento, incluindo aquelas das figuras 2 e 3. Foi solicitado aos alunos que respondessem às primeiras perguntas descritas na seção "Quarta Etapa" deste capítulo, em relação ao que as imagens retratavam. Foram notadas particularidades como: a presença de mais uma pessoa além de Franklin; a chave ao final da linha que empinava a pipa, em alguns casos, sendo percebidas representações de faíscas; a ilustração de raios atingindo a pipa na maioria das figuras; entre outras. Em seguida, as demais perguntas da seção "Quarta Etapa" foram feitas: *Franklin realmente fez o experimento da pipa?*; *Se sim, o que levou a propô-lo?*; *O que teria concluído?* As respostas dos alunos mostraram que grande parte conhecia a anedota, afirmando que Franklin realizou o experimento para comprovar a natureza elétrica dos raios.

Na próxima hora, passamos à terceira etapa da aplicação, a *leitura integral das fontes primárias*, quando os trechos do quadro 3 foram entregues aos alunos. Optei por realizar essa etapa em sala de aula para garantir que houvesse tempo e oportunidade para esclarecer dúvidas e explicar termos ou ideias desconhecidas pelos alunos. Na ocasião, o principal esclarecimento foi sobre a figura 4, quando foi relacionada a descrição de Franklin sobre o experimento da guarita e os detalhes da figura. Esse momento ocupou os trinta minutos seguintes da aula.

Na aula seguinte, também com duas horas, prosseguimos à quarta etapa da aplicação, a *leitura contextualizada*. Com o auxílio de *slides* previamente preparados a partir dos subsídios para a LC discutidos no quadro 3, os trechos das fontes foram recortados e esmiuçados, sendo dado tempo para novas questões e explicações. Dentre as atividades realizadas, foi analisada uma possível representação visual da pipa, com base nas descrições da carta de 1752

(figura 5). Essa etapa teve a duração de uma hora e trinta minutos, aproximadamente. Nessa etapa, o principal desafio foi gerir o tempo destinado à discussão dos subsídios da LC. Como optei por não responder às dúvidas somente ao final, muitos questionamentos surgiram ao longo da aula. Um desses questionamentos referiu-se às razões pelas quais os trabalhos de Franklin não foram prontamente aceitos. Os alunos desconheciam aspectos da história da ciência estadunidense, pouco consolidada e prestigiada no século XVIII.

Figura 5 – Representação da pipa, feita com base nas descrições de Franklin.

Fonte: elaborada por Jordi Pastor.

Nessa etapa de *leitura contextualizada*, os elementos dos contextos científico e metacientífico foram associados. Por exemplo, ao abordar as concepções de Franklin sobre o poder dos corpos pontudos, foi ressaltado como o conhecimento em eletricidade ainda era inicial nessa época, com várias propriedades que atualmente

são tomadas como básicas ainda em processo de análise. De outra ponta, quando o experimento da guarita foi abordado, discuti seu significado dentro da teoria elétrica de Franklin, não como seu único e mais importante experimento, mas como integrante de uma discussão específica, relacionada a um conjunto mais amplo de concepções. Portanto, foi nessa etapa que a essência do ensino contextualizado transpareceu, uma vez que a análise do conteúdo das fontes a partir dos dois contextos contribuiu para um entendimento mais completo de seus significados e importâncias dentro do tema estudado.

A última etapa da aplicação foi a *volta ao problema*. As questões colocadas na etapa da *problematização* foram retomadas e respondidas em um amplo debate em sala de aula. Nesse momento, deu-se ênfase às questões da natureza da ciência (NdC), mais especificamente aos elementos do contexto metacientífico listados no quadro 2. Considerei que essa seria a oportunidade de fechar a discussão, mostrando como as respostas às questões da *problematização* são complexas e ampliam a compreensão de senso comum sobre o trabalho de Franklin, a eletricidade no século XVIII e sobre o empreendimento científico. As anedotas, concluiu-se nos últimos trinta minutos da aula, podem esconder eventos, características e questões mais importantes e mais reveladores sobre a ciência que suas abordagens superficiais costumam destacar.

Comentários finais

A proposta de leitura contextualizada de fontes primárias (LC) descrita nas seções anteriores buscou oferecer possibilidades para a inserção de conteúdos da história da ciência em situações de ensino. Como uma proposta em constante construção, considero que sua estrutura, suas etapas e até mesmo sua fundamentação conceitual podem ser modificadas ao longo dos anos,

por novas experiências e pressupostos. No contexto em que a proposta abrangendo Franklin e o experimento da pipa foi aplicada, ela foi bem sucedida em não apenas apresentar aos alunos escritos originais desse autor – até então não disponíveis em português – como também aprofundar questões da natureza da ciência (NdC), objetivo cada vez mais presentes nos trabalhos na interface entre história da ciência e ensino.

Conforme apontado no início desse capítulo, é possível que estruturas semelhantes à LC estejam sendo aplicadas, implícita ou explicitamente, por outros autores. Por exemplo, quando leio em Boss et al., (2016) a menção à introdução de notas explicativas nas traduções ou mesmo à inserção de uma breve biografia do autor estudado, isso ressoa com a etapa de *estruturação da LC*, em sua fase de construção, e à sua aplicação em si. Da mesma forma, quando Batista et al., (2015, p.688) afirma que a utilização didática das fontes "implica escolher excertos potencialmente relevantes, adequados ao contexto educacional, obter boas traduções e buscar alternativas para contornar eventuais dificuldades de compreensão", diversas etapas da construção da LC parecem semelhantes. Portanto, reafirmo que entendo a proposta de LC não como algo revolucionário ou novo, mas como uma tentativa de sistematizar o que já vem sendo feito, no intuito de organizar, nomear e discutir as ideias e diferentes passos para a utilização de fontes primárias.

Nesse sentido, os próximos estágios intencionam justamente a ampliação e aprimoramento da proposta de LC. As fontes primárias podem desempenhar um papel relevante no ensino e aprendizagem de aspectos da construção da ciência. Como reflexos das expectativas e pressupostos de seus autores e do momento em que foram produzidas, elas são recursos muito vantajosos para serem conhecidos apenas por especialistas. A LC pode ser um caminho para mostrar que, com adaptação e contextualização, as fontes primárias tem potencial para construir caminhos no ensino de ciências.

Referências

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: Apeiron, 2010.

BATISTA, G. L. F.; DRUMMOND, J. M. H. F.; FREITAS, D. B. Fontes primárias no ensino de física: considerações e exemplos de propostas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** v.32, n.3, p.663-702, dez., 2015.

BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Os conceitos de eletricidade vítrea e resinosa segundo Du Fay. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29, n.4, p.635-644, 2007.

BOSS, S. L. B. **Tradução comentada de artigos de Stephen Gray (1666-1736) e reprodução de experimentos históricos com materiais de baixo custo – subsídios para o ensino de eletricidade.** 2011. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2011.

BOSS, S. L. B.; ASSIS, A. K. T.; CALUZI, J. J. **Stephen Gray e a descoberta dos condutores e isolantes – tradução comentada de seus artigos sobre eletricidade e reprodução de seus principais experimentos.** São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.

BOSS, S. L. B. et al., A utilização de traduções de fontes primárias na formação inicial de professores: breves considerações sobre a dificuldade de leitura e entendimento. In: GATTI, S. R. T.; NARDI, R. (orgs.). **A história e a filosofia da ciência no ensino de ciências:** a pesquisa e suas contribuições para a prática pedagógica em sala de aula. São Paulo: Escrituras Editora, 2016. cap.8, p.171-197.

COHEN, I. B. **Benjamin Franklin's Science**. Cambridge-MA: Harvard University Press, 1990.

COOLEY, L. R. C. **Natural Philosophy for Common and High Schools.** New York: Charles Scribner's Sons, 1882.

FORATO, T. C. M. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. 2009. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FRANKLIN, B. A letter of Benjamin Franklin, Esq; to Mr. Peter Collinson, F.R.S. concerning an electrical kite. **Philosophical Transactions**, v.47, p.565-567, 1751-1752.

FRANKLIN, B. **Experiments and observations on electricity, made at Philadelphia in America.** London: David Henry, 1769.

FRANKLIN, B. **The autobiography of Benjamin Franklin.** Mineola/New York: Dover Publications, 1996.

GALILEI, G. **Ciência e fé**. São Paulo: Nova Stella Editorial, 1988.

GIL-PÉREZ, D. *et al.*, Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, v.7, n.2, p.125-53, 2001.

GROSSMAN, E. **Why translation matters.** New Haven/London: Yale University Press, 2010.

GUERRINI, A. Translation as a way of life. **Isis**, v.109, n.4, p.747-752, 2018.

HEILBRON, J. L. **Electricity in the 17th and 18th centuries:** a study of early modern physics. Berkeley/ Los Angeles/ London: University of California Press, 1979.

HODSON, D. Nature of Science in the science curriculum: origin, development, implications and shifting emphases. In: MATTHEWS, M. R. (ed.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching.** Dordrecht: Springer, 2014. cap.28, p.911-970.

JARDIM, W.; GUERRA, A. República das letras, academias e sociedades científicas no século XVIII: a garrafa de Leiden e a ciência no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.34, n.3, p.774-797, dez., 2017.

KLASSEN, S. A theoretical framework for contextual science teaching. **Interchange**, v.37, n.1-2, p.31-62, 2006.

KLASSEN, S The application of historical narrative in science learning: the Atlantic cable story. **Science & Education,** v.16, p.335-352, 2007.

KLASSEN, S. The construction and analysis of a science story: a proposed methodology. **Science & Education**, v.18, p.401-423, 2009.

KLASSEN, S. The relation of story structure to a model of conceptual chance in science learning. **Science & Education,** v.19, p.305-317, 2010.

KRAGH, H. **Introdução à historiografia da ciência.** Porto: Porto Editora, 2001.

MAGNAGHI C. P.; ASSIS, A. K. T. Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes – uma tradução comentada do artigo de Volta de 1800 descrevendo sua invenção da pilha elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física,** v.25, n.1, p.118-140, abr., 2008.

MOURA, B. A.; BOSS, S. L. B. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: uma tradução comentada de sua Teoria sobre Luz e Cores. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v.37, n.4, p.4203, 2015.

MATTHEWS, M. R. (ed.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching.** Dordrecht: Springer, 2014.

MOURA, B. A. **Formação crítico-transformadora de professores de física: uma proposta a partir da história da ciência.** 2012. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2012.

MOURA, B. A. As contribuições de Benjamin Franklin para a eletricidade no século XVIII. **Física na Escola,** v.16, n.2, p.27-35, 2018.

MOURA, B. A. **A filosofia natural de Benjamin Franklin:** tradução de cartas e ensaios sobre a eletricidade e a luz. São Bernardo do Campo: EdUFABC, 2019.

MOURA, B. A. SILVA, C. C. Critical and transformative teachers: a rationale for history and philosophy of science in science teacher education. In: PRESTES, M. E. B.; SILVA, C. C. (eds.). **Teaching science with context – historical, philosophical, and sociological approaches.** Dordrecht: Springer, 2018. cap.1, p.3-13.

MOURA, B. A. SILVA, C. C. Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v.7, n.2, p.336-348, jul-dez., 2014.

PRIESTLEY, J. **The history and present state of electricity, with original experiments**. London: J. Dodsley, J. Johnson, B. Davenport, T. Cadell, 1767.

SCHIFFER, H.; GUERRA, A. Electricity and vital force: discussing the nature of science through a historical narrative. **Science & Education,** v.24, p.409-434, 2015.

SCHOFIELD, R. **The enlightenment of Joseph Priestley**: a study of his life and work from 1733 to 1773. Philadelphia: The Pennsylvania State University Press, 1997.

SILVA, A. P. B.; GUERRA, A. **História da ciência e ensino – fontes primárias e propostas para a sala de aula.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

SILVA, A. P. B.; SILVEIRA, A. F. **História da ciência e ensino – fontes primárias.** São Paulo: Editoria Livraria da Física, 2018.

SILVA, C. C. Jean Antoine Nollet's contributions to the institutionalization of physics during the 18th century. In: KRAUSE, D.; VIDEIRA, A. (eds.). **Brazilian studies in philosophy and history of science:** an account of recent works. Dordrecht: Springer, 2011, cap.8, p.131-140.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C. Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin.

Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.25, n.1, p.141-159, 2008.

SILVA, C. C.; HEERING, P. Re-examining the early history of the Leiden jar: stabilization and variation in transforming a phenomenon into a fact. **History of Science**, v.56, n.3, p.314-342, 2018.

STINNER, A. The large context problem (LCP) approach. **Interchange,** v.37, n.1-2, p.19-30, 2006.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JR., O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (orgs.). **Temas de história e filosofia da ciência no ensino.** Natal: EdUFRN, 2012, cap.1, p.9-40.

VYGOTSKY, L. **Pensamento e linguagem.** 4. ed. Rio de Janeiro: Martins Fontes, 2008.

XAVIER, A. M.; STEIL, L. J. Quadrimestre ideal: dispositivo de controle de tempo no currículo da UFABC. **Educação e Pesquisa**, v.44, p.1-18, 2018.

REINSTATING INSTITUTIONS: THE RETURN OF NATURAL PHILOSOPHY IN TIMES OF ACADEMIC POSTMODERNITY[99]

André L. de O. Mendonça (IMS/UERJ)
alomendonca@gmail.com

Antonio A. P. Videira (IFCH/UERJ)
guto@cbpf.br

Introduction

While the meta-narrative presented by Kuhn may have been restricted to analyzing the natural sciences, it has been extrapolated to other areas by sociologists, psychologists, philosophers, and others, often with the aim of problematizing their respective scientific statutes, giving rise to new perspectives in these disciplines. Compared to philosophy and sociology, history has arguably undergone more transformations. As for the history of science, it would not be an overstatement to talk in terms of B.K. (before Kuhn) and A.K. (after Kuhn).

99 An expanded version (in Portuguese) of this article will be published in: MINHOT, LETICIA; DÍAS, EVA MORENO (Eds.) *Representaciones. Revista de Estudios sobre Representaciones en Arte, Ciencia y Filosofía*. v.14. n.1. 2018. Sirca Publicaciones. ISSN 1669-8401. Edición especial, editoras Leticia Minhot, Eva Moreno Días. AAPV thanks CNPq for the grant nº 30495/2014-5 and FAPERJ for the fellowship Prociência.

There is no shortage of appropriations, primarily of Kuhn's controversial and polysemous concept of "paradigm," in the social sciences and humanities. In fact, there have been all manner of attempts to employ his methodological and theoretical framework to understand the nature, development, and scope of numerous areas of knowledge. For those who are familiar with the sometimes harsh criticisms levelled at Kuhn over the three decades of his involvement in the history and philosophy of science, it seems somewhat ironic that his theoretical framework was incorporated by "humanistic" culture. Could this be an indicator that, deep down, the natural and social sciences are not "naturally" distinct from one another, or, to put it differently, that Kuhn's great contribution was to show that the "Two Cultures" were actually both culturally conditioned? Despite the importance of this question, the general relationship between Kuhn's ideas and the social sciences and humanities, in terms of ascertaining whether there is, indeed, such a difference between the Two Cultures, is a topic—however worthy of discussion - that falls outside the scope of this paper. Instead, our aim here is, on our own terms (meaning, respecting our condition as inhabitants of Latin America), to reframe the subsequent ramifications of the historiographical and philosophical framework Kuhn used to shape his image of science as they have appeared in the new history of science and in science studies[100]. In other words, we shall focus on studies that are normally geared towards the natural or exact sciences, drawing on their own "empirical" methods.

Taking Lorraine Daston's essay "Science Studies and History of Science" as a leitmotiv, we put forward a thesis in favor of creative and reflective syntheses of the great quantity of fragmented and scattered empirical material produced by the new history of science, provided these syntheses respect our Latin Americanness,

100 For a discussion of Kuhn's legacy, as disputed in the new history of science and science studies, from the perspective of the persistent asymmetry between facts and values, see Mendonça and Videira (2013).

which in our view implies rejecting the proposal made by Daston. Sensing, as it were, a whiff of nostalgia for modernity in the air, we want to rethink the "negative" role recently attributed to great narratives, reinstating their lost dignity, but without in so doing setting out in search of some bygone era of Essentialist Foundationalism[101]. In order to develop our argument as clearly and coherently as possible, our ideas are organized into the following sections: 1- a schematic reconstruction of the theoretical assumptions behind today's social historiography of science; 2- a critical discussion of Daston's aforementioned essay; 3- a presentation of the problems that hamper attempts to incorporate Daston's dilemma into the reality found in countries like Brazil, in view of the conditions under which their scientific institutions exist. In other words, how we should go about harnessing philosophy for a "return to the era of the great narratives" in peripheral countries. The main barrier to this is the state of their institutions, particularly the ones engaged in science.

A Brief History of the History of Science

When it is analyzed from the perspective of its current status, there seems to be a widespread feeling that the history of science is going through a period of conceptual and methodological transformation. For some historians and philosophers of science, these transformations are better characterized as difficulties. Or, to put it differently, even today there are still questions about its "real" objectives or the right methods for attaining them. This state of affairs forces practically any and all historian of science

101 Without failing to acknowledge the importance of the approach itself, we take an opposing position, therefore, to the position taken by those who defend a "local philosophy of science." Reflecting on the political and epistemological implications of this branch, Mendonça (2013) makes a critical analysis of the thinking of Joseph Rouse.

today to call into question the aim of the history of science and the importance of his/her activity. One of the reasons why such questioning is so necessary is the rapid and widespread growth of this discipline, as witnessed by the great number of journals and books published, conferences, colloquia and symposiums held, and national and international societies devoted to the history of science. Yet this rapid growth should not be construed as meaning that the history of science is a newcomer to the field of human intellectual endeavour. Actually, it is old.

This "old age" of the history of science seems to have caused it serious difficulties, since it does not have a single definition. The lack of consensus about how to define the history of science became evident as of the 1960s, when Thomas Kuhn's well-known work The Structure of Scientific Revolutions elicited such strong reactions. Without a consensual definition, the history of science found itself mired in a crisis of identity.

This crisis could be seen as stemming from a tension between at least two different ways of approaching the history of science. First, there is the way scientists themselves, protagonists of science, approach the history of science after migrating (for whatever reason) from actor to author. When this is the case, the historiographical genres of choice tend to be histories of disciplines and scientific autobiographies. There is a well-known thesis that scientists only start worrying about the history of science when they retire—basically motivated by a concern to have their names and achievements recorded in the history books of their respective fields of expertise (RUSSELL, 1948, p.777). Scientists, at least in the eyes of professional historians, write history in order to legitimize their own conceptions and ideas. This quest for legitimacy could result in the ideas, ideals, and methods of science being applied outside its domain, constituting a case of scientism[102].

102 For more on the historiography of scientism, see Hakfoort (1995).

A different historiographical perspective is taken by historians and sociologists, who regard themselves as far more critical towards the values conveyed and advocated by scientists. They see scientists as being unmoved by any concern or interest beyond the understanding of how science has developed. For scientists, it would be unacceptable to give the history of science the right or opportunity to legitimize science. Their opponents argue that such legitimization presupposes a problematic image of science that is anachronistic, presentist, and shaped by the interests of individuals or groups, just to cite a few of the "defects" of the scientist historiography of science.

Awareness of these complications in the history of science seems to have first been awakened in the early 1930s. Not only is it an ancillary science, but it has been dogged by this secondary or auxiliary status since its very inception. Going back to the seventeenth century, the history of science has always been used for purposes outside its realm. However, this surely begs a question: Did anybody know what the true goals of the history of science where when it first emerged? Would it not have been too early to formulate such a question? What could have prevented the history of science from being used for "purposes other than its own"?

The conception of the history of science as an ancillary discipline, insofar as it legitimizes certain practices, is evident in the type of history produced by scientists. The genre of history to which they devote their energies could be labelled a "history of problems." In fact, it is a type of history that could be given several names. Its main problem stems from the fact that it is hard for this genre of historiography to be unteleological, in that it leads (always as naturally-sounding as possible) to the current solution for the problem, or at least to the point its resolution had reached at the time the story was told. In other words, the final destination of conceptual history is the present day. If the historical description leads us to the scientific solution now held

as valid, it can be deemed satisfactory and successful in explaining the development of that bit of science.

We have to assess what goals and interests are at play when history of science narratives are formulated; after all, it would be misguided to imagine that the history of science is unbiased. Indeed, it is built on certain values and theses about the nature of science and about the objectives attributable to the history of science. These values and theses, which constitute images of science and its goals, should be analyzed explicitly to get to the root of the historical narrative. It would therefore be naive to think that the history of science is objective just because it corresponds to a set of facts that have the capacity to impose themselves incontrovertibly on historians[103]. Essentially, the history of science's identity problem derives from the controversies surrounding the suggested answers to two questions: What is history of science? and What is its goal? Or, quite simply: Why engage in the history of science?

Even if reaching a consensual characterization or definition of the history of science is no easy or straightforward matter, its historical evolution can still be understood in general terms. One of the ways of doing so is to analyze the writings (books, papers, articles) produced in the area. If studying the literature is the right "path" for understanding how the history of science has developed, then the most accurate description of this activity would be the study of the history of the historiography of science. By examining the sequence, growth, and proliferation of historical writings about science, it is feasible to reconstitute a meaning for the lineage and formation of the history of science as an autonomous field of inquiry governed by academic standards.

103 The very choice of facts and protagonists to be included in the history to be told already establishes a relationship with the image of science. They are chosen (and essentially come into existence) because of it.

The history of the historiography of science can shed light on the trajectory of the disciplinarization of the history of science.

Generally speaking, when reference is made to historiography, one first thinks of a critical analysis of published works about the history of science. Such a critical analysis is generally designed to comprehend three points in particular:

1) On what conception (or image) of science did the historian base his/her historical narrative?
2) What questions does the historian regard as important and therefore worth answering?
3) What are his/her goals in attempting to answer these questions?

These questions could be supplemented by at least one more, which is gaining ground at the present time: What readership (or audience) does the science historian address? Or, indeed, what audience "consumes" the history of science? The growing relevance of this question can be explained essentially by two factors. The first has to do with the fact that some of the reasons proposed in the twentieth century (as detailed below in our discussion of Daston's ideas) to justify the institutionalization of the history of science are now being reassessed. The second, related to the first, has to do with science itself, which, after the Second World War, was the target of harsh criticism from all segments of society. For many scientists and science administrators, the history of science would have the power to explain and legitimize, albeit in general terms, some of the main characteristics of science. Before this time, the prevailing school of thought was that the history of science exemplified important philosophical theses, like belief in scientific progress, almost invariably viewed as linear and cumulative.

One of the origins of the social history of science was skepticism about the widely held thesis that the development of science would inevitably lead to progress, happiness, and the material

and spiritual wellbeing of humankind[104]. This skepticism gradually took root across the world after the two world wars in the first half of the twentieth century. In their wake, science could no longer be held up as a surefire source of happiness whose only concern was understanding and harnessing the natural world for the benefit of humans. Holding a position like this, also known as a scientific mentality, came to be seen as naive.

As of the mid-twentieth century, the idea that science was not neutral gained currency, albeit not without opposition from some scientists and pro-science philosophers. It was held that science and scientists were motivated by interests other than just the acquisition of knowledge about nature and the furthering of human wellbeing. The fact that science played an important role in the development of military might and proved incapable of answering the very questions it posed prompted mistrust towards the cognitive capacity and axiological neutrality of science.

The involvement of science in the planning and development of new weapons, its growing conceptual complexity, the apparently endless march of technological progress, science's insatiable thirst for financial resources, and its increasing incomprehensibility to the layperson and even other scientists made science a cause of fear and repulsion. Understanding what science was and how it was done was no longer self-evident. Such difficulties—already present in the discourses of philosophers and even of scientists concerned about the determination of the nature of science and its methods of investigation and justification-led to the explicit recognition, as shown by the celebrated work by C. P. Snow, The Two Cultures, that there was an ever widening chasm between science and the rest of human society.

104 The "social history of science" is not very precise and does not translate exactly our ideas about the historiography of science in practice today. Nonetheless, in the absence of a better-known expression, this is the one we will use, albeit recognizing its theoretical shortcomings.

This gap continues to be a major problem today, at least if we take a look at the existing literature. After all, since the mid-seventeenth century, most western societies have been organized around science. Three centuries since the emergence of "modern science," there is again a pressing and inescapable need to legitimize science and bring it closer to non-scientists, who nonetheless need it for their survival - i.e. virtually the entire population of the world. One way of stopping the gap between scientific and non-scientific culture from growing would be to understand how science developed from the seventeenth to the twentieth century. In other words, for science to overcome the post-war wave of pessimism, it is important to know what it once was and how it acquired such a pivotal role in western civilization.

One person who cannot be ignored in any investigation of the institutionalization of the history of science in the USA designed to bridge this gap between science and society is the American chemist James Conant, who, in the 1950s, set up a history of science program to refresh and renew the teaching of science. One "offspring" of this program was Thomas Kuhn, as he himself acknowledges in the foreword to The Structure of Scientific Revolutions. It is curious that in the United States, the history of science attained its current-day proportions thanks to a decision taken in a sphere that, while certainly being cultural and academic, was nonetheless clearly intended to allow its effects to spread beyond the bounds of academia and higher education. In other words, the scale of the support given to the history of science today only makes sense when one sees that it met a need felt outside the walls of academia, that it was in the interests of furthering scientific education in the country and the advocacy of science for the population as a whole. This movement, sponsored by Conant, helped speed up the institutionalization of the history of science. From then on, the history of science started to run at two different tempos: the pace of its institutionalization and the pace of the development of its disciplinary bedrock.

Earlier, we stated that one of the jobs of the history of science is to understand the most important characteristics of the image of science, as expressed, for instance, in the output of a scientist. It is necessary to observe that by "characteristics" we mean the epistemological and methodological principles and values defended and effectively used by scientists. According to Conant, this clarification helps facilitate the comprehension of scientific content and helps people from outside the world of science to understand its true value. In other words, the history of science is responsible for making science less foreign and distant to the lay public. But it is not enough merely to clarify the characteristics of the image of science now, as described by scientists. For historians to fulfilll their task, they must also have an image of science at their disposal. While many present-day science historians do not subscribe to this view, holding that it establishes an asymmetrical relationship between history and the philosophy of science, this is not a position we share, as it is not possible to talk about something without being able to recognize it. This concern should not, however, be overstated, otherwise it could make the history of science an overly technical domain, to the point of being of interest only to those engage in it professionally. This seems to be the conclusion drawn by Lorraine Daston, whose thinking we shall investigate in the next section.

The Victory of Mediocrity: the Professionalization of the History of Science

Drawing on the ideas in Sheila Jasanoff's (2000) paper on the relationship between science studies and the history of science (a kind of lament about their mutual distance), Lorraine Daston suggests there is "a more general pattern in the relation between disciplines and interdisciplinary clusters that address the same matter—in this case, science and technology" (2009, p.798-99) -and that one discipline will normally look down on

any other that wants to draw closer to it, while at the same time making overtures to another discipline that is indifferent to it. Her central argument is that the root of the divergence between science studies and history of science since the mid-1990s lies in their different conceptions of science, which, she argues, led to their mutual distancing. Ignoring for now the imprecisions stemming from the avowedly "maddeningly tendentious" nature of her account in favor of the history of science, it is worth sketching out Daston's narrative here, which she herself admits is no more than a general outline. Our initial assumption is that her reflections are of the utmost importance to anybody keen to work in science studies or history of science in a genuinely proficuous manner in the coming years.

After mentioning the more remote, oft-forgotten lineage of science studies (a veritable academic cultural melting pot, ranging from the socialist spectrum to the liberal: Durkheim, Marx, Mannheim, Bernal, Wittgenstein, Polanyi, Fleck, and others), Daston refers to the text that, like it or not, essentially forms the starting point for both fields: Kuhn's groundbreaking The Structure of Scientific Revolutions, written over fifty years ago.[105] As Daston puts it, this is a work that was interpreted in one way by the history of science and in another by science studies: as anti-Whig history (contextualization) and as relativist manifesto (symmetry principle), respectively. However, these distinct receptions of Kuhn's work were initially overlooked, for reasons that included the existence of a shared enemy (positivism) and a concern with greater integration between science and society, not to mention the importance of the role played by three categories of analysis central to both fields: contingency, negotiation, and work (agency).

105 Mendonça (2012) reflects on Kuhn's legacy on the 50th anniversary of *The Structure of Scientific Revolutions.*

Despite these promising beginnings, science studies and the history of science began to diverge from one another more recently because of increasingly intractable differences in their respective positions of "estrangement" towards science: while science studies practitioners drew on symmetry as a kind of sociological suspicion, as exemplified by expressions like "social construction," historians of science called on contextualization as historical understanding. More serious still: however unlikely it may seem, science studies take science as a given, while history of science considers scientific practices as the explanandum. This could be because advocates of the former are keen to make science transparent to society, unlike their science historian counterparts, who are "only" interested in understanding what science is and how it works in concrete terms, or, to borrow the words of Daston, "accurate historical reconstructions." In this sense, the history of science has indubitably veered towards narratives, increasingly located in time and space, about materially conditioned scientific practices. Strictly speaking, as Daston argues, what the historicist history of science intends to do is find out how knowledge forged locally is turned into "universal science" through a negotiated and contingent process.

Curiously, for Daston, the two advantages of the history of science over science studies - without nourishing any sociological suspicion toward science or considering generalizations relating to science - are actually corollaries of its recent disciplinarization in closer alliance with history (its adoption by historians). Thanks to its inclusion in the discipline of history, the history of science has learnt to avoid the anachronism and teleology still prevalent in other fields. Obviously, as Daston herself points out, the great number of microhistories of a truly historical bent produced by the history of science is, paradoxically, a concrete expression of the stated aim of science studies to pay attention to context and practice: "Simply put, the more historical the history of science became the less the science it studied resembled the prepackaged

subject matter of science studies" (DASTON, 2009, p.810-11). Essentially, Daston's thesis is that the history of science has been more successful than science studies in seeking out a more appropriate understanding of science in virtue of its having molded itself as a discipline along the same lines as history itself, even if it does not yet attract the unreserved recognition of historians. However, recognizing that in life there is always a price to pay, Daston (2009, p.811) herself adds a footnote in which she sets forth the pros and cons of these less eclectic, more miniaturizing narratives.

Although she demonstrates a certain enthusiasm for the new images of science contained in the detailed accounts of the new historicist history of science, Daston seems to hark back nostalgically to its pre-disciplinarized past, or, to be more precise, expresses concern with the predominance of mediocrity. Indeed, at the end of her work, she calls on readers to propose a new type of interdisciplinarity in order to synthesize or combine the wealth of material that is so fragmented in these new narratives: "Philosophy, anyone[106]?"

Although it is an evaluation paper, Lorraine Daston's "Science Studies and History of Science" does not state a clear position about the relations - once friendly, now indifferent at best - between the practitioners of science studies and the history

106 At the end of the introduction to his book *Never Pure*, Steven Shapin (2013) states that his work and that of other science historians was to have lowered the tone: "It would be easier to maintain that commitment – to richness, to detail, to accuracy – if we felt that we were doing God's work, but it's more admirable, I think, if we feel that same commitment, that same sense of vocation, when we know that we are not on a divine mission. That we are telling stories – rich, detailed, and, we hope, accurate – about a tone-lowered, heterogeneous, historically situated, embodied, and thoroughly human set of practices. That is, when we are doing what now counts as the history of science" (p. 14). However much we may identify with the stories Shapin tells, perhaps he himself does not extract due inferences from his own work; after all, is the only alternative to divine grandeur human smallness?

of science. At the end of the day, is she pro-science studies or pro-history of science, or would she rather they interacted with one another? If this last option is true, what does she see such dialogue achieving? Is she interested in buttressing the position of history of science not so much against science studies, but vis-à-vis other scientific disciplines? Might she be favourable to embedding science studies in the history of science? She could have indicated where she stands on this point if she had been more decisive in stating the advantages already garnered by science studies and the history of science when they still interacted. Nonetheless, despite certain significant gray areas, we do not feel the need to adopt the common posture in philosophy of destroying the work under discussion before progressing towards our own propositions.

The Return of Natural Philosophy: Beyond Bureaucratization

As we see it, the basis of our reflections should be as follows: What is the point of carrying on doing science? In other words, if we are to carry on doing science based on our present-day targets or goals (almost all of which are technological or applied), do we still need scientists? This problem lies at the heart of some reflections proposed by certain figures who have flirted with science studies, like John Ziman (1999). He predicted that the scientist, as he understood him to be, would be completely dispensable in the model of the scientific organization that began to prevail after the Second World War.

If science studies acritically accepts the view of science as it was proposed and spread throughout the twentieth century, this leads to an apparently irrefutable conclusion that science studies intends to do nothing more than reform this science.

If we put together the statements in the two preceding paragraphs, we are left in the following predicament: even though

science studies came into being with the intention of bringing science and society closer to one another and this has in fact come about, the price has been very high. Science has become an integral part of society (as witnessed by all the science and technology ministries, funding agencies, and science columns in daily newspapers), but in the process it has been bureaucratized.

However, the traditional ethos of the scientist does not lie well with this bureaucratization. Scientific discovery cannot be pursued in an environment of officialdom where routine reigns supreme. In other words, the official and government-sponsored support and communication of science has done it harm, just like the British "conservatives" predicted in the first half of the nineteenth century. If we are right on this point, it could be argued that Daston is harking nostalgically back to the time when science studies and history of science were not official or professionalized. By invoking philosophy, might she not actually be thinking (as we, indeed, are) that philosophy is something that cannot be professionalized or bureaucratized or completely institutionalized? If this is the case, alongside the intrinsic "polyglotism" of philosophy, it has another advantage: insurgency. By its very nature, it is immune to rules imposed from outside.

The problems raised by people like Ziman were somewhat hidden from view under the "Humboldtian" model of higher education, which prevailed until the mid-twentieth century. Until then, the building blocks of universities were their faculties of philosophy and their different professional schools, which were separate from the former. After departments and institutes were created in the name of efficiency, it could no longer be denied that science had become routine practice. Does that mean, then, that philosophy should speak out against the way science is now done? If this is what Daston is calling for, then philosophy will stand against science studies.

This leads to the inevitable conclusion that, for Daston, philosophy is, first and foremost, dialogue. And this dialogue, at least to start with, should be impartial, since its starting point is external to it. Another feature of philosophy that constantly appears in Daston's paper is its independence from theses. In other words, philosophy does not have theses of its own that it defends against all-comers. Daston therefore seems to accept an Enlightenment conception of philosophy, where its only role is criticism.

We do not agree that a critical function alone is enough to bring philosophy back to its rightful place for dialogue, even if it is between science studies and the history of science. As Galileo already believed, the most important dialogue is our dialogue with nature (which includes human nature). Entering into dialogue with nature implies wishing to know what it is and how it behaves. Without intending to do any mental backflips, we would hold that philosophy should move closer to natural philosophy as it existed until the beginning of the nineteenth century. In other words, philosophy should once again concern itself with discovering what reality (including human reality) is. But how, if at all, can this take place?

The final question Daston formulates should be answered thus: Philosophy would be capable of finding a principle that was general enough for the history of science to tell a great narrative about science. Neither the history of science nor science studies has been able to encounter this "principle." Arguably, it would run counter to the very idea of science studies, which generally stands against all and any unified image of science. However, the same could be said of a history of science that rejects teleology and presentism. But what is to be gained by piecing together a great narrative of science? Is there some "common enemy" out to get science studies and the history of science? Is it relativism or pluralism? Maybe it is. Relativism is the natural philosophical position for whoever turns to science through the lens of the

history of science and science studies. It is a philosophical position that is embedded in the image of science proposed by both areas. Thus, relativism (or pluralism), science studies, the history of science, and science inhabit the same universe. They are like beings in a two-dimensional planet: to see the whole (or totality), one would have to find a structure capable of shifting away from this “universe”. Maybe this is the role Daston would attribute to philosophy.

But could philosophy fulfill this role in Latin American academic institutions? We would hesitate to give a positive reply. In these settings-and bearing in mind that doing science means doing scientific politics-philosophy is not one of the elements normally called on to design science development policies, which weakens and debilitates it.

Reinstating Institutions

Since modern science consolidated the features and characteristics for which it has become known, the role of scientific institutions has been recognized. It is acknowledged that the institutions of science - its societies, journals, academic curricula, etc. - have contributed significantly both to the emergence of modern science and to its process of consolidation. What is not clear - and has sparked controversy amongst scientists, philosophers, sociologists, and historians - is what esteem or value these institutions are owed. For instance, does it make any sense to imagine that modern science would not exist without the institutions that harbor it? This seems to be John Ziman’s conclusion. Whether it would or not, this question does not exhaust the topic. Could science have emerged without the institutions it is represented by? Paolo Rossi (1999), for instance, sees modern science as emerging in Europe outside the walls of its medieval universities.

In order for universities to contribute to the consolidation of science, they had to change, putting many of their medieval characteristics behind them. The changes universities had to undergo to meet the needs of modern science began in the late 1700s and early 1800s, gaining particular contours in the reform of the University of Berlin in 1810. Ever since then, teaching and research have been indissociable: researchers (who wish to augment the sum of human knowledge) must teach and teachers (who are familiar with the latest discoveries in the scope of human knowledge, and who may or may not have contributed to some discovery) must do research. Despite the current-day validity of this bilateral relationship, it suffers (and has indeed suffered almost since it was introduced) from pressures of all kinds, especially questionings about its real effectiveness for the production of novelties. Essentially, there is a not insignificant body of scientists who feel that teaching "diverts" them from their "mission" to discover new truths about nature.

In the last century, scientific institutions became an incontestable fact of life, even while those who defended the university model accepted that a gamut of different institutions should coexist alongside them, including technical universities, research institutes, academies, etc. The Humboldtian model ceased to be the only or even the best option. One figure who stands out amongst those who foretold the end of the German university model was Max Weber, who in 1917, on the invitation of Bavarian students, gave a talk that still reverberates today entitled "Science as a Vocation."

In the countries where modern science arrived "late," this replacement of the prevailing model did not happen, either because they did not have any universities when they were colonies (a prime example being Brazil) or because the universities founded under colonial rule did not cater to modern science (which seems to have been the case in the former Spanish colonies). In these

countries, whatever empire they belonged to, an education and research system that was varied and plural had to be created. In other words, just when they were introducing "modern" universities along the lines of the pre-existing models in Europe and the United States, they were also having to tackle the problems these institutions were now afflicted by. Their new universities were created with the same handicaps that existed elsewhere, where they had been around far longer. This seems to have hampered the whole process. Stages, it was then thought, would have to be leapfrogged or quickly traversed for these countries (e.g., in Latin America) to produce science up to "international" standards and for competent experts to be educated and employed in different sectors of their respective societies. Meanwhile, when the universities were created, the "scientists" from these countries, most of whom had trained at professional schools (of engineering, medicine, or law) that had existed since the early nineteenth century or even earlier, knew they were not up to the task of teaching or researching to the required standard. Young people would have to be sent abroad to be trained at more "advanced" centers of academia in order to acquire the knowledge they needed to fulfill their tasks to the expected level. This local "backwardness" was a determinant - or rather, an obstacle - that had to be taken into consideration.

"Modern" education and research systems were eventually formed, especially in the second half of the twentieth century. Since then, the idea that science is important not just for economic development, but also for national security, has become entrenched around the world. During the decolonization of Africa and Asia, a process marked by the notion of national independence, science and its applications were understood as being a prerequisite for obtaining independence or political autonomy or even complete sovereignty. Science was a "natural" part of the political game. Politicians had to try to comprehend what science

was, and did so with varying degrees of success. The multiplicity of actors engaged in science had certain effects that should not be ignored. Here, we will focus on just one of them; namely, the inclusion of different values relating to the nature of science and its importance to society. The values that were effectively adopted were not just the ones that scientists attributed to science. These values had to vie with others, some of which were explicitly rejected by the practitioners of science, since they were championed by persons who were "alien" to the academic world.

In the case of a country like Brazil, during the initial stages of creation and organization of the education and research system, scientists particularly accentuated the value of "pure" science, albeit without overlooking the importance of applied science, knowing as they did that it was a more effective tool of political persuasion. Two names worth mentioning to illustrate this point, again from Brazil, are Henrique Morize and Manoel Amoroso Costa. Amoroso Costa published an article in a former Rio newspaper, O Jornal, entitled "For Pure Science" (VIDEIRA, 2003).

The considerations we have set forth so far enable certain preliminary conclusions to be drawn. Higher education institutions that also support science are not stable structures, but dynamic. Transformation is inherent to their nature. What often disturbs the people working in them is the type of transformation they go through and the reason for such transformation. When external pressure (from national governments, the armed forces, industrial conglomerates, etc.) is strong, to the point of upsetting their balance, university "inhabitants" rise up in protest and proclaim their autonomy, the right to decide what and how they should change. Nonetheless, it must be acknowledged that scientists and academics are often slow to react to demands from the "outside world". And maybe they are right. If the fundamental reason for joining and remaining in the university world is vocation, it follows that scientists are better placed to decide what and

how to change. However, if the system of research and education is actually designed to train professionals, the "outside world", or society, must have a determining influence. Perhaps this is why even today, professional schools (of engineering, medicine, law, nursing, accountancy, economics, etc.) do not just continue to survive, but actually thrive.

Just like science, the education and research system is not uniform, but fragmented. We should not forget that Wilhelm Humboldt never finished his text, leaving it without a conclusion precisely when it should address the relationship between universities and research institutes. "What are universities for?" is an ever-relevant question. And it seems to be one that cannot be ignored, as if the question of purpose were perennial when it comes to the university. As a rule, it is understood as implying that universities are in a constant state of crisis, as if crises were a constant in the life of universities, wherever they are. This seems not unreasonable, in that science itself is in a constant state of flux.

The first universities in Brazil were founded in the 1930s and were based, at least on paper, on the Humboldtian model. However, the faculties of philosophy at the University of São Paulo and the University of Brazil (in Rio de Janeiro), the two main universities until the higher education reform in the late 1960s, were unable to assure science a solid footing, since several prerequisites were missing, such as adequate pay, laboratories, up-to-date libraries, opportunities for exchange with more advanced institutions, graduate level education, and more.

Prior to the 1930s, all attempts to change Brazil's education and research system had been half-hearted. This is due in part to the fact that education and research were left out of all nation-building endeavors devised until then. The relationship between science and nation building changed when Getúlio Vargas rose to power in 1930, and then again, more significantly, after the Second World War. As of the 1930s, Brazilian scientists

supported moderate nationalism, without military or conservative excesses. Science was an integral part of a world view keen to promote the country's social, economic, and cultural development.

While it would seem beyond question that the Brazilian higher education and research system has grown, matured, and spawned significant scientific results, the price of these achievements is perceived as being too high. In line with global trends, scientists have become hostages of government funding. In a country like Brazil, where there is virtually no private investment, handouts from government agencies (e.g. CNPq and CAPES) are the primary sources of resources. The money is distributed through public calls for projects, which themselves induce what research is to be done. In recent years, these calls for projects, mirroring a "conclusion" now apparently taken for granted, have focused primarily on promoting innovation. In other words, they aim to harness science to add economic value to products exported by Brazil. The results of this bid to boost innovation have so far failed to live up to expectations.

There are no robust questions being asked about what science should be used to achieve. Notions of progress, for instance, seem to be based on the same ideas that have dominated European nations since the nineteenth century. This automatic acceptance of the values that determine and configure science means the prevailing conception of science is imported ready-made and taken on board without due criticism or reflection. Science is accepted as a universal "thing". And if this is the case, how can anyone expect philosophy to be an "instrument" of transformation, as Daston urges?

If there is indeed any chance of changing science in Latin America, this change will probably not be prompted by any contribution from the field of philosophy. But what about the history of science? Perhaps. After all, the history of science we see around us seems concerned with recuperating political and social ideas

not only of scientists, but also of intellectuals and members of groups often seen as excluded.

References

DASTON, L. Science studies and the history of science, **Critical Inquiry**, v.35, n.4, p.798-813, 2009.

HAKFOORT, C. The historiography of scientism: a critical review, **History of Science**, v.33, n.4, p.375-395, 1995.

JASANOFF, S. Reconstructing the past, constructing the present: can science studies and the history of science live happily ever after? **Social Studies of Science**, v.30, n.4, p.621-31, 2000.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

MENDONÇA, A. Das grandes narrativas filosóficas às micro-análises historiográficas. A filosofia epistêmica e politicamente engajada de Joseph Rouse. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v.6, n.2, p.196-208, 2013.

MENDONÇA, A. O legado de Thomas Kuhn após cinquenta anos. **Scientiæ Studia**, v.10, n.3, p.535-60, 2012.

MENDONÇA, A.; VIDEIRA, A. A. P. A assimetria entre fatos e valores: a herança de Kuhn nos Science studies. In CONDÉ, M.; PENNA-FORTE, M. (Eds.), **Thomas Kuhn: A estrutura das revoluções científicas [50 anos**]. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013, p.187-210.

ROSSI, PAOLO. **La naissance de la science moderne en Europe**. Paris: Seuil, 1999.

RUSSELL, COLIN. Whigs and professionals. **Nature**, v.308, n.5962, p.777-778, 1984.

SHAPIN, S. **Nunca pura: estudos históricos de ciência como se fora produzida por pessoas com corpos, situadas no tempo, no espaço, na cultura e na sociedade e que se empenham por credibilidade e autoridade**. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.

VIDEIRA, A. A. P. **Henrique Morize e o ideal de ciência pura**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2003.

ZIMAN, J. A. Ciência na sociedade moderna. In GIL, F. (Ed.), **A ciência tal qual se faz**. Lisbon: Edições João Sá da Costa, 1999, p.436-450.

AUTORES E AUTORAS

Ana Paula Bispo da Silva - UEPB
Professora da Universidade Estadual da Paraíba (Departamento de Física) e coordenadora do Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino (GHCEN) desde 2007.

André L. de O. Mendonça - UERJ
Professor adjunto do Instituto de Medicina Social da UERJ.

Andreia Guerra – CEFET/RJ
Professora e pesquisadora do programa de pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do CEFET/RJ e coordenadora do Núcleo de Investigação em Ensino, História da Ciência e Cultura (NIEHCC).

Antonio A. P. Videira – IFCH/UERJ
Professor do Departamento de Filosofia da UERJ, colaborador no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCTI, professor no Pemat/UFRJ e bolsista de produtividade do CNPq.

Breno Arsioli Moura – UFABC
Professor adjunto da UFABC. Pesquisa em história da óptica e da eletricidade do século XVIII. Publicou recentemente o livro "A filosofia natural de Benjamin Franklin" pela EdUFABC.

Douglas Allchin – University of Minnesota
Douglas Allchin is an internationally renowned scholar in history and philosophy of science and science education. He is author

of Teaching the Nature of Science: Perspectives and Resources and Sacred Bovines: The Ironies of Misplaced Assumptions in Biology. He taught at the University of Sao Paulo in 2015.

Elizabeth Cavicchi - MIT

Elizabeth Cavicchi encourages students tobe explorers, facing the unknown, observing, questioning, and collaborative lyevolving-theirown experiments and ideas in seminars that she teaches at MIT's Edgerton Center. As exploring uncover suncertainties, her students and herself come into dialogue witheachotherand historical investigators. In learning through experience, Dr. Cavicchi's teaching and research extends critical exploration in the class room. This research pedagogy, developed by her Harvard doctoral adviser Eleanor Duck worth, has roots in Jean Piaget's works and science education projects of her MIT adviser Philip Morrison. A visual artist and tandem bicyclist, Dr. Cavicchi has written and presented internationally, including narratives from her teaching and on her re-creations of nineteenth century electromagnetic experiments. Her publications include Inter change (2018, 2014, 2011, 2008), Science & Education (2017, 2008), New Educator (2009), British Journal for the History of Science (2008), Perspectives on Science (2006), and chapters in: Cross-Rudkin, Early Main Line Railways(2016), Silva & Prestes, Aprendendo ciência e sobra sua natureza (2013), Monroy-Nasr, Alvarez & Leon, Enseñanza de la Ciencia (2012), Staubermann's Reconstructions (2011) and Heering, Hochadel & Rhees, Playing with Fire (2009).

José Otávio Baldinato – IFSP

É bacharel e licenciado em Química pela Universidade de São Paulo (USP), mestre e doutor em Ensino de Ciências pela mesma instituição. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), onde atua na formação de professores e coordena o Grupo Faraday de Pesquisa em História da Ciência.

Katya Braghini – PUC-SP
Professora e pesquisadora da PEPG em Educação: história, Política, Sociedade (EHPS) da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Doutora e Mestre em Educação pela mesma Universidade. Colaboradora do Deutsche Hygiene Museum - Dresden. Associada à Sociedad Española para el Estudio del Patrimonio Histórico-Educativo (SEPHE). Investigadora associada ao Programa de "Investigación Escolarización. Perspectivas históricas, pedagógicas y políticas de la educación". (Universidad de La Plata). Membro do Núcleo de Pesquisas sobre a Educação dos Sentidos e das Sensibilidades (NUPES/FAE/GEPHE) da Universidade Federal de Minas Gerais.

Paulo Alves Porto – USP
É bacharel e licenciado em Química pela USP, mestre e doutor em Comunicação e Semiótica (área de pesquisa: História da Ciência) pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). É livre docente na área de ensino de química pelo Instituto de Química da USP, coordena o Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ) e é um dos editores do periódico Química Nova na Escola.

Pierre Boulos – University of Windsor
Pierre Boulos is a faculty member in the Argumentation Studies PhD Programme and Teaching and Learning Specialist in the Centre for Teaching and Learning at the University of Windsor. Currently he is the President of the International History, Philosophy, and Science Teaching Group. He is also a Research Fellow in the Centre for Research in Reasoning, Argumentation and Rhetoric. Pierre Boulos' academic training is in Math and Philosophy of Science. His current areas of research are in history and philosophy of physics (Newton), and the scholarship of teaching and learning and research ethics.

Roberto de Andrade Martins – UNIFESP/FESB
Professor aposentado da Universidade Estadual de Campinas; professor colaborador da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) e da Fundação Municipal de Ensino Superior de Bragança Paulista (FESB); pesquisador do Grupo de História, Teoria e Ensino de Ciências (GHTC/USP); bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq

Thaís Cyrino de Mello Forato – UNIFESP
Docente na Universidade Federal de São Paulo, Doutora em Educação, Mestre em História da Ciência e Licenciada em Física. Desenvolve pesquisas sobre abordagens históricas das ciências no ensino de ciências e na formação de professores. Editora Adjunta de *Prometeica - Revista de Filosofia y Ciencia*.

Sobre o livro

Design da Capa | Erick Ferreira Cabral
Imagem da Capa | Pixabay.com
Fontes Utilizadas | Myriad Pro 16pt
Adobe Carslon Pro 12pt